DOI: 10.16452/j.cnki.sdkjzk.2021.05.013　　文章编号:1672-3767(2021)05-0116-09

重大事件下的路网交通疏散双层优化模型

徐泽洲[1,2],刘祥泽[2],贾彦峰[3],赵梓旭[3]
(1.青岛市城市规划设计研究院,青岛 266071;2.日照职业技术学院,日照 276800;3.青岛理工大学,青岛 266520)

摘　要:针对城市中重大事件期间的交通出行特点,提出基于交通组织的上层优化算法与基于信号控制的“绿波”与“红波”下层协同优化算法,其中对于静态的交通组织优化方案不能及时响应动态疏散需求的问题,通过在时间维度的离散化对上层算法进行优化;根据上层优化结果相应地调整信号控制策略,考虑关键路段的蓄车能力来限制信号周期以及路口可能发生的绿灯空放现象和车辆溢出现象来确定相位差设计范围;并以整体延误最小化、交通通行能力最大化作为优化目标建立路网交通双层优化模型。仿真结果表明,该模型下主要道路交叉口的通行车辆数平均提高 7.1%,同时 5 个道路交叉口的车辆总延误平均减少 5.8%,验证了模型在应对重大活动事件造成的道路交通拥堵有更佳的适用性。

关键词:重大事件;信号控制;交通组织;双层优化;仿真分析
中图分类号:U491　　**文献标志码**:A

Two-tier optimization model for road network traffic evacuation under major events

XU Zezhou[1,2], LIU Xiangze[2], JIA Yanfeng[3], ZHAO Zixu[3]
(1. Qingdao Institute of Urban Planning and Design, Qingdao, Shandong 266071, China; 2. Rizhao Polytechnic, Rizhao, Shandong 276800, China; 3. Qingdao University of Technology, Qingdao, Shandong 266520, China)

Abstract: According to the characteristics of urban traffic during major events, this paper proposed the upper level optimization algorithm based on traffic organization and the lower level collaborative optimization algorithm based on the “green wave” and “red wave” of signal control. Considering that the static optimized scheme was unable to respond to the demand for dynamic evacuation in time, the upper level algorithm was optimized by the discretization in temporal dimension. Signal control strategies were adjusted according to the upper level optimization results. The signal period was limited by considering the vehicle storage capacity of key road segments, and the phase difference design range was determined by considering the possible green light empty phenomenon and vehicle overflow phenomenon at intersections. With minimizing the overall delay and maximizing the traffic capacity as the optimization objectives, a two-tier optimization model of road network was established. The simulation results show that the number of vehicles passing through the main road intersections is increased by 7.1% on average, and the total vehicle delay of five road intersections is reduced by 5.8% on average, which verifies that the model has better applicability in dealing with road traffic congestion caused by major events.

Key words: major events; signal control; traffic organization; two-tier optimization; simulation analysis

重大事件按照是否具有可预见性通常分为重大突发事件和重大活动事件,不论何种事件发生都会对周边交通造成拥堵,甚至导致区域交通运行瘫痪。因此,快速疏散事件造成的交通拥堵,一方面反映城市交通

收稿日期:2021-02-09
基金项目:国家自然科学基金项目(51678320).
作者简介:徐泽洲(1975—),男,山东青岛人,高级工程师,主要从事交通规划与管理方面的研究.E-mail:441764366@qq.com
刘祥泽(1981—),男,山东日照人,副教授,主要从事车辆与载运工具方面的研究,山东科技大学控制工程专业 2007 级校友,本文通信作者.E-mail: liuxiangze@126.com

治理的水平,另一方面能够提升市民对出行服务的满意度。早在20世纪70年代,Hans等[1]提出了用于估算拥堵疏散时间的简单统计公式,又称为疏散率模型,这是最早用于疏散分析的模型。之后不断有学者对交通疏散过程中的控制策略进行研究,主要包括:逆行车道设计、交通信号控制、疏散路径选择等。逆行车道设计即将车道的行驶方向改为相反方向,能够在短时间内增加特定方向上的通行能力,具有其他组织方式无法比拟的优点,因此采用设置逆向车道能够极大地提高疏散效率,减少重大事件给交通系统带来的危害。Kim等[2]、Zou等[3]的研究说明了逆向车流设计在交通疏散中的有效性,并使用启发式算法求解了疏散时间;Wang等[4]通过仿真软件研究大规模路网的路径优化问题,利用智能算法求出给定时间内的逆向车道的动态设置方案;Mitchell等[5]在研究逆向车道设置问题时,考虑影响路网通行能力的因素,并将其换算成可计算的数学参数,认为逆向车道设置方案还受疏散范围内网络的人口密度、安全出口的距离等因素影响。在交通信号控制方面,Chen等[6]利用动态交通分配模型对应急交通疏散进行了研究,通过实时交通管理控制使整个疏散时间最少;Sisiopiku等[7]用Synchro软件获得了一个小区域的最优配时方案,并利用Corsim软件对疏散方案和信号配时方案进行了评估;Ming等[8]利用Corsim软件评估了美国华盛顿特区两条主要疏散通道上的4种配时方案:红闪方案、黄闪方案、最小绿灯时间方案和高峰小时方案。在疏散路径选择方面,高明霞等[9]将疏散问题视为最大网络流问题,给出了两种寻找最优疏散路径的方法;Dunn等[10]研究核电站发生重大事件情况下的疏散优化问题,考虑在特定时间内建立疏散人群最多为目标的最大流模型;高明霞等[11]对城市路网发生突发事件时,如何对疏散路径进行优化的问题进行了研究,其将城市道路网抽象为便于计算的点权网络,然后将交叉口通行能力以及延误时间定义为网络中的节点权重,建立最小费用流模型并求解最佳线路。孔祥春等[12]所建立的模型考虑了文献[11]中忽略路段通行能力的上限问题,通过减少车辆在交叉口冲突点的延误,达到缩短疏散时间的目的;杨帆等[13]对路网中存在大型活动时的紧急疏散优化进行研究,并考虑交通流特性等参数,建立了动态交通流模型求解疏散路径,并通过单行设置算法得到路网中的疏散状态和疏散需要的时间,求解过程在动态分配算法的基础上完成,最后生成的紧急疏散方案更具有可行性;王健等[14]建立了考虑车道的交通疏散模型,为紧急疏散方案提出一些建议;陈岳明等[15]建立以到达疏散终点的总时间为目标函数的模型,提出动态分配模型用来解决疏散路线选择问题;吴薇薇等[16]探讨了疏散路网的改造方案,并建立了最小饱和流模型,对改造后的方案性能进行分析。

综上,当前我国针对重大事件的交通组织和信号控制相结合的疏散策略研究较少。具体表现在:在现有的基础设施条件下,对事件期间的交通态势的规律和特点把握不充分,在时空(交通信号控制与车道功能设置)角度对交通疏散的优化效果不够理想。对此,本研究构造了一种基于双层结构的交通疏散优化模型。该模型的上层为交通组织优化模型,下层为交通信号控制优化模型,在上层交通组织优化的基础上,再以整体交通系统的总延误时间最小为目标进行再次优化,通过多次迭代后达到模型的平衡状态时输出问题最优解,进而达到快速疏散交通拥堵的目的。

1 双层优化理论与模型

重大活动事件在不同发展阶段表现出不同的特点。城市交通系统以已有的控制策略运行直至活动事件发生,活动事件发生导致城市局部区域的交通出行量急剧变化,在节假日尤其明显且该状态会持续到事件完全解除。本研究提出的双层优化模型是在重大活动事件发生的背景下建立的,主要思路是首先对交通进行上层的组织优化,包括对所在层的目标函数进行相关优化;下层是以上层优化结构作为参数进行交通信号控制优化。其数学表达形式为:

$$\min F(x, y(x)), \tag{1}$$

$$\text{s.t.} \quad G(x, y(x)) \leqslant 0。 \tag{2}$$

其中,$y=y(x)$,由下层数学规划问题决定:

$$\min f(x, y(x)), \tag{3}$$

$$\text{s.t.} \quad g(x, y(x)) \leqslant 0。 \tag{4}$$

式中:F、f 分别为上层、下层优化问题的目标函数;G、g 分别为上层、下层的限制条件;x、y 分别为上层、下

层在针对相关问题时的对策变量。

由上述定义可知,上层依据 x 的数值进行对应规则的设定,该操作将影响下层交通控制的可行集;下层执行上层的规则,同时将执行结果信息反馈回上层,实现了上下层相互影响制约的效果,$y=y(x)$ 表示下层的对策变量 y 与上层对策变量 x 呈函数关系。

2 交通疏散双层优化模型建立

重大活动事件下,针对交通状况在不同发展阶段表现出的不同特点,结合双层优化思想构建面向交通组织和交通信号控制的双层优化模型。模型上层为交通组织优化,其措施主要为采用单向交通,利用出行者的路径选择进行构造。模型下层以首次单行优化的基础为前提,对道路交叉口交通信号控制策略进行优化,与上层共同构成双层优化模型,将整体延误最小化、交通流量最大化作为优化目标。

2.1 交通组织上层优化算法

当城市某区域内的某位置有重大活动事件发生时,首先假设该区域的交通为 $G(N,A)$,其是由该区域内所有道路交叉口构成的集合 $N(n\in \mathrm{N})$ 与所有道路构成的集合 $A(a\in A)$ 共同组成的,$a(i,j)$ 表示首端为 i、末端为 j 的路段。该路段内共包括有 r 个出行起点和 s 个出行讫点($1\leqslant r\leqslant R$,R 为起点个数最大值;$1\leqslant s\leqslant S$,S 为讫点个数最大值),则此时所需的交通疏散路径集合为 q_{rs}。道路网的单行优化的决策变量为路段的单行参数 C'_a,目标为车辆疏散时间 $F(C'_a)$ 最小[3]。

模型的数学表达式为:

$$\min F(C'_a)=\sum\nolimits_{a\in A}x_a(t)\cdot\tau_a(x_a(t)),\tag{5}$$

$$\text{s.t.}\quad \sum_{s=1}^{S}f_{rs}(t)=q_r(t),\forall r\leqslant R,s\leqslant S,\tag{6}$$

$$x_a(t)\geqslant 0,\tau_a(T)\geqslant 0,f_{rs}(t)\geqslant 0,q_r(t)\geqslant 0,\tag{7}$$

$$C'_a=\begin{cases}1,\text{路段 } a(i,j)\text{ 的 } i\rightarrow j \text{ 方向设置为单行}\\-1,\text{路段 } a(i,j)\text{ 的 } j\rightarrow i \text{ 方向设置为单行。}\\0,\text{正常双向路段}\end{cases}\tag{8}$$

式中:$x_a(t)$ 为单位时间路段 a 的交通量;$\tau_a(x_a(t))$ 为车辆通过路段 a 的用时;$f_{rs}(t)$ 为 r 个起点至 s 个讫点的疏散路径交通流量;$q_r(t)$ 为 r 个起点的交通量疏散需求。C'_a 为本轮单行优化的决策变量,假设路段 $a(i,j)$ 中有双向车道 $2N$ 个,则单行车道数目与车道单行变量的关系如图 1 所示。

上层算法中需要设计最优的单行交通组织方案,将总体疏散时间最小化。式(5)为目标函数;式(6)为交通路网疏散的客观约束条件;式(7)为 0 或正变量约束条件;式(8)为模型决策信息的位置约束条件,路段单向行驶信息在{−1,0,1}内选择。

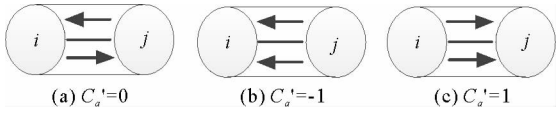

图 1 车道数和单行变量所存在的关系

Fig. 1 Relationship between lane numbers and the single-row variable

考虑到城区的主要干线道路或快速路通常遵循双向通行方式,故该模型在实际使用中不应将所有路段皆设定为单向道路,需要结合实际情况将整体路段集合 A 中部分非干线设定为单行道路。由活动事件的基本特点可知,活动开始的前期和结束会导致交通量出现大幅波动,静态的交通组织优化方案不能及时响应动态疏散需求,故还需要对静态模型的时间维度离散化,即将本时段的交通组织优化效果作为下一时段的优化依据。经分析可知,时间维度的离散化越具体,对模型的修正效果越好,该过程的数学表达为:

$$\min Z(X)=\sum_{a}\int_{0}^{x_a(t)}t_a(\omega)\,\mathrm{d}\omega,\tag{9}$$

$$\text{s.t.}\quad \sum_{k}\int_{k}^{rs}f(t)\,\mathrm{d}t=q_{rs},\tag{10}$$

$$x_a(t)=\sum_{r,s}\sum_{k}f_k^{rs}\delta_{a,k}^{rs},\tag{11}$$

$$x_a(t) \leqslant s_a, f_k^{rs} \geqslant 0。 \tag{12}$$

式中:f_k^{rs} 为起讫点(r,s)间道路 k 中的交通流量;$\delta_{a,k}^{rs}$ 为起讫点(r,s)之间的路径变量,若路段 a 在(r,s)间的道路 k 中,则 $\delta_{a,k}^{rs}=1$,否则 $\delta_{a,k}^{rs}=0$。

修正的优化模型可将整体时段 T 分解为 n 个时长为 T/n 的时段 $t_1,t_2,\cdots,t_n$,若第 t_{i-1} 时段中有剩余交通流量,则其会添加到后一个时段 t_i 内,并可经过变换得到:

$$\hat{q}_{rs}(t_i)=q_{rs}(t_{i-1})\cdot\left(1-\frac{T/n}{C_{rs}}\right)。 \tag{13}$$

式中:$\hat{q}_{rs}(t_i)$ 为时段 t_i 添加的交通流量;$q_{rs}(t_{i-1})$ 为时段 t_{i-1} 剩余的交流流量;C_{rs} 为起讫点路径平均通行时长。

则 t_i 时段的交通通行需求可表示为:

$$Q_{rs}(t_i)=q_{rs}(t_i)+\hat{q}_{rs}(t_i)。 \tag{14}$$

通过对时段 t_i 的交通通行需求的计算,随后使用 Frank-Wolfe 算法[17]得到各时间段的交通量及其通行时长。可得修正的总行程时长表达式:

$$\tau_a(x_a(t))=\begin{cases}3\ 600\dfrac{l_a}{v_{a0}}\left[1+0.15\left(\dfrac{x_a(t)}{(C'_a+1)e_a}\right)^4\right] & ,C'_a\neq-1\\ \infty & ,C'_a=-1\end{cases}。 \tag{15}$$

式中:v_{a0} 为无约束条件下的车流速度;e_a 为路段车流密度;l_a 为路段长度。

2.2 交通时序下层优化算法

2.2.1 整体配时策略

单行交通的交通组织方式会将道路交叉口的车辆冲突显著减少,整体延误时间也会随之减少,但该方式会迫使车辆绕行,影响交通的直达性。过量的绕行会一定程度上影响交通参与者的出行体验。因此,还需在单行交通组织方法的基础上对各时间段上的交通信号控制进行优化,以协调相应的交通流量。针对单行交通组织使道路交叉口的冲突点减少的特点,可更大程度发挥“绿波”和“红波”的协调控制优势。

2.2.2 绿波控制

干线绿波控制可有效提高拥堵区域内主干路车辆的通行效率,加快拥堵的疏散。交通信号周期长度可由道路交叉口各进口道的每小时车流量与交通饱和度制定;在交通疏散过程中,信号周期长度的制定还需重点考虑不同路段的车辆蓄存能力以及车辆在不同信号下的到达率等。在上述原则的基础上,若道路交叉口的时空距离过短,则要尽可能使用长周期,在交通流量过大时需对周期长度做必要的限制。综上分析,周期长度计算方法为:

1) 路口的最小通行能力限制:

$$C_1^i \geqslant \sum_m (G_m^i)_{\min}+L^i, \tag{16}$$

式中:G_m^i 为交叉口 i 的相位 m 的时长;L^i 为交叉口 i 的总损失时长。

2) 交叉口的最大通行能力限制:

$$C_2^i \leqslant \sum_m (G_m^i)_{\max}+L^i。 \tag{17}$$

3) 交叉口的最大饱和度限制:

$$C_3^i \leqslant \frac{k_m^i L^i}{k_m^i-Y^i}, \tag{18}$$

式中:k_m^i 为交叉口 i 相位 m 的最大交通流饱和度;Y^i 为交叉口 i 的流量比之和:

$$Y^i=\sum_{m=1}^{m}\max[y_m,y'_m,\cdots]=\sum_{m=1}^{m}\max\left[\left(\frac{q_d}{S_d}\right),\left(\frac{q_d}{S_d}\right)',\cdots\right]; \tag{19}$$

式(19)中:y_m、y'_m 分别为相位 m 的交叉口的流量比与设计流量比;q_d 为道路交叉口设计交通量;S_d 为道路交叉口设计饱和交通量。

绿波控制的周期长度参考符合上述条件的周期的最大值,即

$$C_{\mathrm{ref}}=\max(C_1,C_2,C_3)。\tag{20}$$

在选用较大周期的前提下,通过调整周期中相位差减少红灯信号时长,在车辆的到达率相同时提高通行效率。基于已有优化策略,引入两个限制条件,即设计相位差避免道路交叉口出现溢流和绿灯损失。

1) 避免溢流的相位差设计

设计过饱和状态的相位差时,将原相位差减少 Δ_r,使停车冲击波的发生时间降低 Δ_r,确保消散点位于道路的上游即交叉口前,如图 2 所示。假设消散点恰好位于道路上游交叉口处,应用公式(21)计算出相位差的限制:

$$\Delta_1\geqslant\frac{L}{u_s}-\frac{L(1-\rho)}{L_v}\cdot h,\tag{21}$$

式中:ρ 为排队长度与路段长度之比;u_s 为离驶冲击波的速度。

2) 避免绿灯损失的相位差设计

在检测到出现绿灯损失时,调整交通信号控制的相位差,使上游交通流在到达道路交叉口时恰好加入下游的道路交叉口放行车队,由此减少绿灯损失时间,如图 3。防止绿灯损失的最大相位差由式(22)计算可得:

$$\Delta_2\leqslant\frac{L\cdot\rho\cdot h}{L_v}-\frac{L}{v}。\tag{22}$$

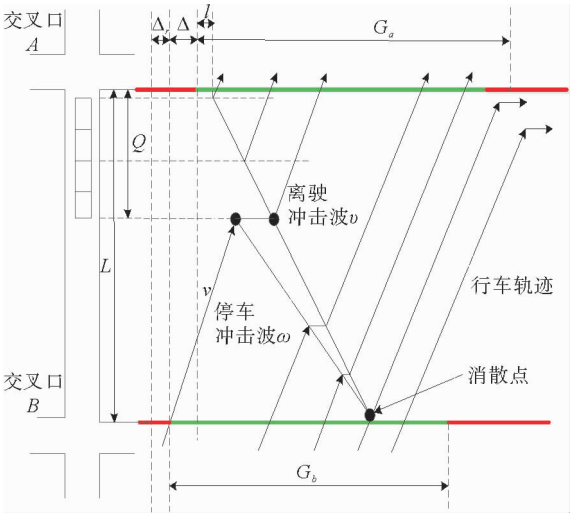

图 2 防止溢流现象的相位差设计

Fig. 2 Phase difference design to prevent overflow

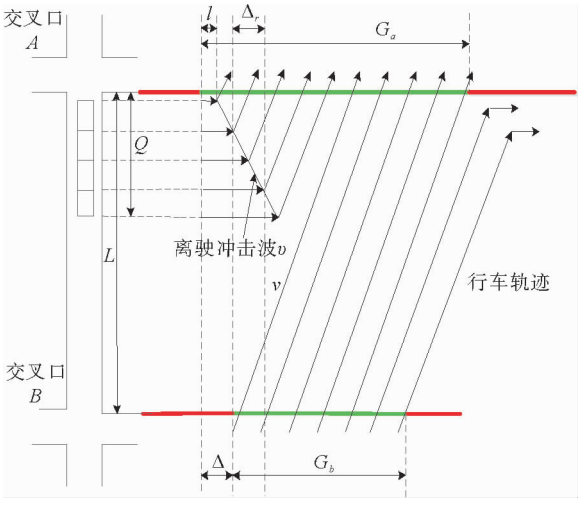

图 3 防止绿灯空放的相位差设计

Fig. 3 Phase difference design to prevent empty green light

2.2.3 红波控制

重大活动事件结束时会造成局部范围内交通量陡增,此时要优先疏导驶出方向的车辆、减少驶入本区域的外围车辆以缓解活动中心的交通压力。因此,除了要对驶出方向进行绿波协调,还需对驶入方向设定红波。红波控制的起点设置在城区与郊区的交界附近且上游有一定蓄车能力的道路交叉口,下游的交叉口则可按照文献[18]的方法,依据两两相连的交叉口的关联程度来计算和设置信号相位差:

假设 D_{ij} 为交叉口 i 与交叉口 j 的间距,两交叉口所属的路段平均车速为 u_{ij},上游车辆经过交叉口时,下游车队在交叉口 j 的排队长度为 L_{qj},则上下游车队在下游交叉口相遇时,上游车队行驶的位移长度为:

$$L_{ij}=D_{ij}-\left[L_{qj}-\frac{n_j\cdot l(D_{ij}-L_{qj})}{C\cdot u_{ij}}\right]。\tag{23}$$

式中:n_j 为单周期内协调方向驶出交叉口 j 的车辆数目;l 为平均车辆纵长;C 为信号周期长度。

因此,红波控制的信号相位差设置分为以下 2 种情况:

1) 当 $\frac{L_{ij}}{u_{ij}}<C$,即上游车队经过上一交叉口与下游车队相遇的时间短于周期长度 C 时,两相邻交叉口在

协调方向上的相位差计算式为:

$$\Delta_{ij}=C\left(r_i+\frac{L_{ij}}{u_{ij}}\right)\%\ (\%\text{表示整除求余数})。\tag{24}$$

2) 当$\frac{L_{ij}}{u_{ij}}>C$,即上游车队经过上一交叉口与下游车队相遇的时间长于周期长度 C 时,考虑上游交叉口信号灯在协调方向上绿灯启亮时,下游也在协调方向的信号灯是否与其一致再分为 2 种情况讨论:

①若两交叉口信号灯灯色不一致,此时满足条件 $C\cdot\frac{L_{ij}}{u_{ij}}+(C-r_i)<\frac{L_{ij}}{u_{ij}}<C\cdot\left[\left(\frac{L_{ij}}{u_{ij}}\right)+1\right]$,则相邻交叉口信号灯相位差为:

$$\Delta_{ij}=\frac{L_{ij}}{u_{ij}}-C\cdot\frac{L_{ij}}{u_{ij}}-(C-r_i)。\tag{25}$$

②若两交叉口信号灯灯色一致,此时满足条件 $C\cdot\frac{L_{ij}}{u_{ij}}<\frac{L_{ij}}{u_{ij}}<C\cdot\frac{L_{ij}}{u_{ij}}+(C-r_i)$,则相邻交叉口信号灯相位差为:

$$\Delta_{ij}=\frac{L_{ij}}{u_{ij}}-C\cdot\frac{L_{ij}}{u_{ij}}+r_i。\tag{26}$$

3 数值仿真与验证分析

以青岛某体育场(以红色圆表示)附近区域为例,简化交通路网示意如图 4 所示。体育场内的重大活动发生后将导致一定时间内该区域的道路对车流量的承载负荷上升,对交通路网运转产生压力,同时由于多数车辆对非主干路的利用不充分,加剧了路网中不同等级道路的使用不均匀不协调。由此,为了加快车辆疏散,需要先以总体疏散延误最小化为目标,依据上层优化模型制定理想状态下的单行交通组织策略,得到表 1。

表 1 单行通行计算结果

Tab. 1 Calculation results of one-way traffic

路段	C'_a	路段	C'_a	路段	C'_a
1-2	0	9-10	1	7-10	−1
2-3	0	10-14	1	10-13	−1
3-4	0	11-12	0	13-18	0
5-6	−1	12-17	0	12-16	0
6-7	−1	2-6	0	16-20	0
7-8	1	3-7	−1		

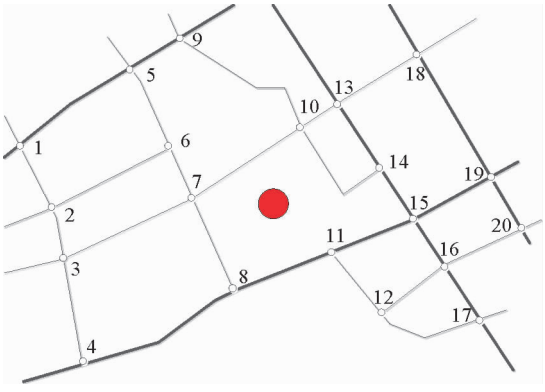

图 4 研究区域路网示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the road network in the study area

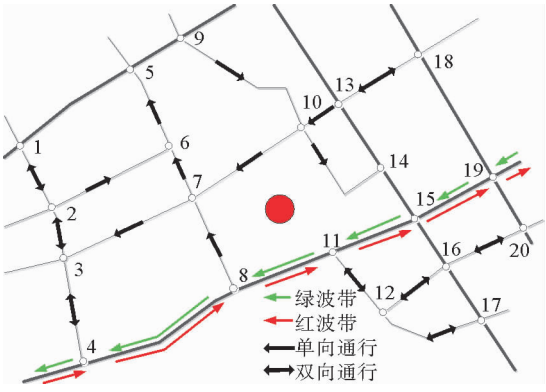

图 5 整体控制策略

Fig. 5 Overall control strategy of road

将表 1 中的结果进行可视化并以上层模型输出单行优化方案为基础,构建下层的信号协调控制方案,得到的该区域道路网的最终优化策略如图 5 所示。以活动事件结束期间为例,主干路主要包括编号为 4、8、11、15、19 共计 5 个道路交叉口,其他道路交叉口的信号灯配时方案针对上层优化结果进行相应地改动。5 个道路交叉口在使用模型优化前的参数如表 2 所示。根据下层优化模型求得 5 个路口的参考周期 C_{ref}(表 3)以及信号相位差限制范围(表 4)。

表 2 优化前主要交叉口信号配时方案

Tab. 2 Signal timing plan for major intersections before optimization

路口	相位 A	相位 B	相位 C	相位 D	周期/s	距离/m	相序	相位差
4	西直左 46 s	东西直 70 s	北左 32 s	—	148	—	$A\to B\to C$	20
8	西直左 32 s	东西直 68 s	北左 28 s	—	128	1 000	$A\to B\to C$	11
11	东直左 28 s	东西直 52 s	南左 30 s	—	110	710	$A\to B\to C$	46
15	南北直 42 s	南北左 23 s	西直左 32 s	东直左 36 s	135	505	$A\to B\to C\to D$	80
19	东西直 45 s	东西左 32 s	南直左 34 s	北直左 43 s	154	490	$A\to B\to C\to D$	32

表 3 主要交叉口参考周期计算结果

Tab. 3 Calculation results of reference period for major intersections s

路口编号	C_1	C_2	C_3	C_{ref}
4	158	137	148	158
8	155	160	160	160
11	143	150	141	150
15	147	139	155	155
19	143	148	152	152

表 4 主要交叉口相位差约束区间

Tab. 4 Phase difference constraint interval at major intersections

路口编号	Δ_1	Δ_2
4	128	145
8	75	95
11	43	56
15	0	0
19	49	69

表 5 优化后主要交叉口信号配时方案

Tab. 5 Signal timing plan for major intersections after optimization

路口	相位 A	相位 B	相位 C	相位 D	周期/s	距离/m	相序	相位差
4	西直左 42 s	东西直 71 s	北左 37 s	—	150	—	$A\to B\to C$	132
8	西直左 35 s	东西直 80 s	北左 33 s	—	150	1 000	$B\to C\to A$	86
11	东直左 49 s	东西直 72 s	南左 38 s	—	150	710	$A\to C\to B$	50
15	南北直 45 s	南北左 30 s	西直左 39 s	东直左 36 s	150	505	$A\to B\to D\to C$	0
19	东西直 42 s	东西左 32 s	南直左 33 s	北直左 43 s	150	490	$B\to A\to C\to D$	60

使用 VISSIM 软件对主要道路交叉口优化前后的方案进行仿真,仿真步长设置为 5,采用连续仿真模式。使用车辆在道路交叉口通过的数目与整体总延误为指标对比优化前后的结果,如图 6(a)和图 6(b)所示。由图 6 可见:主要道路交叉口的通行车辆数均得到一定程度提高,平均提高了 7.1%,同时 5 个道路交叉口的车辆总延误平均减少了 5.8%。

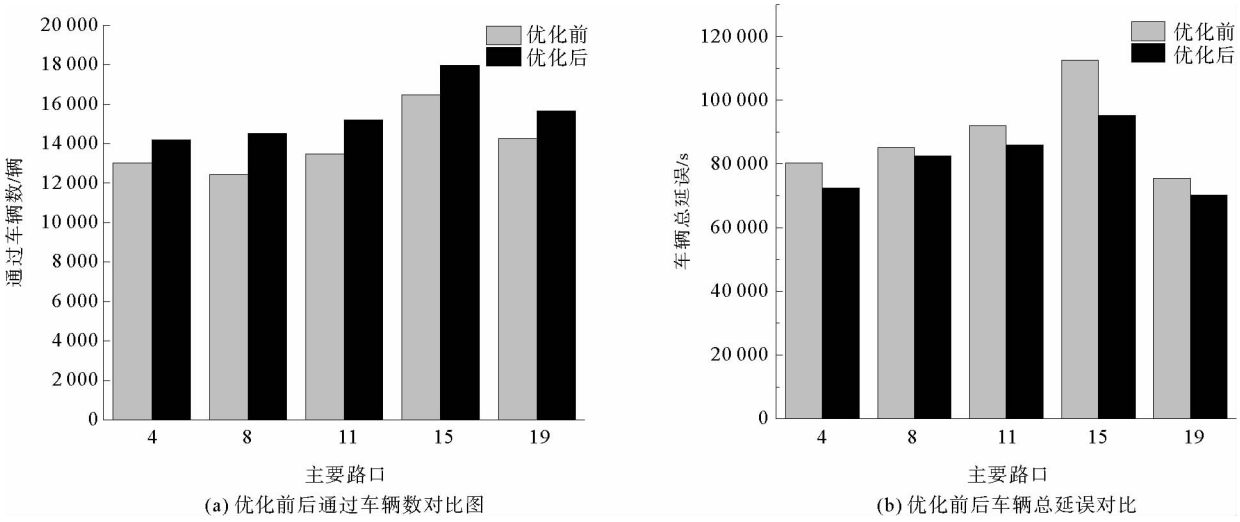

图 6 优化前后车辆通过数和总延误对比

Fig. 6 Comparison of vehicle numbers passing through and delay before and after optimization

4 结论

为缓解重大事件对区域交通产生的影响,将单行交通组织优化结合区域交通信号控制策略两个层面建立交通疏散双层优化模型,该模型可充分考虑到交通组织与交通信号优化的交互影响,通过寻求交通组织与面向交通信号控制的最佳平衡点实现动态最优,同时能保证通行可达性和快捷性,以满足重大活动事件背景下的交通管理要求。仿真结果表明:该模型可有效缓解车流量增加导致的交通压力,使主要道路交叉口的通行车辆数平均提高了 7.1%,同时使车辆总延误平均减少了 5.8%,证明模型在应对重大活动事件造成的道路交通拥堵有较好的适用性。

参考文献:

[1]HANS J M,SEU T C.Evacuation risks:An evaluation[M].US Environmental Protection Agency,Office of Radiation Programs,National Environmental Research Center,Las Vegas,1974.

[2]KIM S,SHEKHAR S,MINM.Contraflow transportation network reconfiguration for evacuation route planning[J].IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering,2008,20(8):1115-1129.

[3]ZOU N,YEH S T,CHANGG L,et al.Simulation-based emergency evacuation system for ocean city,Maryland,during hurricanes[J].Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board,2005,1922:138-148.

[4]WANG J W,IP W H,ZHANG W J.An integrated road construction and resource planning approach to the evacuation of victims from single source to multiple destinations[J].IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems,2010,11(2):277-289.

[5]MITCHELL S W,RADWAN E. Heuristic prioritization of emergency evacuation staging to reduce clearance time[C]//85th annual meeting of transportation research board,Washington,2006:654-657.

[6]CHEN Y M,XIAO D Y.Real-time traffic management under emergency evacuation based on dynamic traffic assignment [C]//IEEE International Conference on Automation & Logistics.IEEE,2008.

[7]SISIOPIKU V P,JONES S,Sullivan A.Regional traffic simulation for emergency preparedness[R].Tuscaloosa:University Transportation Center for Alabama,2004.

[8]MING C,CHEN L,MILLER-HOOKS E.Traffic signal timing for urban evacuation[J].Journal of Urban Planning and Development,2007,133(1):30-42.

[9]高明霞,贺国光.考虑交叉口特性的疏散交通路线研究[J].土木工程学报,2007(6):80-83.
GAO Mingxia,HE Guoguang.Optimization of evacuation route considering movements at intersections[J].Chinese Journal of Civil Engineering,2007(6):80-83.

[10]DUNN C E,NEWTON D.Optimal routes in GIS and emergency planning applications[J].Area,1992,24(3):259-267

[11]高明霞,贺国光.考虑交叉口延误和通行能力优化疏散救援路线的最小费用流模型[J].系统工程,2006,24(9):6-10.
GAO Mingxia,HE Guoguang.Using minimum cost flow model to optimize evacuation routes considering delays and capacity at intersections[J].Systems Engineering,2006,24(9):6-10.

[12]孔祥春,贺国光.考虑交叉口冲突点延误的交通紧急疏散[J].交通科学与工程,2007,23(3):50-55.
KONG Xiangchun,HE Guoguang.Traffic urgent evacuation considering conflict points in traffic delay intersection[J].Journal of Transport Science and Engineering,2007,23(3):50-55.

[13]杨帆.大型活动突发事件下紧急疏散的动态交通流建模与仿真[D].武汉:武汉理工大学,2009.
YANG Fan.Dynamic traffic flow modeling and simulation for special event emergency evacuation management[D].Wuhan:Wuhan University of Technology,2009.

[14]王健,胡晓伟,佟晶晶,等.基于车道建模的区域应急疏散路径规划[J].交通运输工程学报,2010,10(2):82-87.
WANG Jian,HU Xiaowei,TONG Jingjing,et al.Route planning of regional emergency evacuation based on lane modeling [J].Journal of Traffic and Transportation Engineering,2010,10(2):82-87.

[15]陈岳明,萧德云.基于动态交通分配的实时应急疏散交通管理[J].科学技术与工程.2008,15(10):4221-4227.
CHEN Yueming,XIAO Deyun.Dynamic traffic assignment method for real-time traffic management under emergency evacuation[J].Science Technology and Engineering,2008,15(10):4221-4227.

[16]吴薇薇,宁宣熙.紧急疏散网络防堵塞改造研究[J].系统工程学报.2006,21(3):244-248.
WU Weiwei,NING Xuanxi.Research of improving the blockage of emergency network[J].Journal of Systems Engineering,2006,21(3):244-248.

[17]FRANK M,WOLFE P.An algorithm for quadratic programming[J].Naval Research Logistics Quarterly,2010,3(1/2):95-110.

[18]金美莲,陈涛,申世飞.城市混合流疏散中不同交通方式配比对疏散时间的影响[J].清华大学学报(自然科学版),2009,49(2):179-182.
JIN Meilian,CHEN Tao,SHEN Shifei.Influence of transport mode choice on evacuation time in mixed traffic flow evacuation simulations[J].Journal of Tsinghua University (Science and Technology),2009,49(2):179-182.

(责任编辑:傅　游)