|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （15） |

优化目标：在预测时间范围内，经过高速公路所有车辆的总出行时间最小。

总的来说，PI由下列几个部分组成：

1. 高速公路主线车辆总出行时间
2. 上匝道车辆排队时间
3. 抑制可变限速值剧烈波动的罚函数
4. 抑制匝道控制控制率剧烈波动的罚函数
5. 抑制上匝道排队过度增长的罚函数

车辆从进入高速公路到离开，一定会先经过上匝道、高速公路主线和下匝道共3个部分。对于下匝道，假设匝道下游没有发生可以回堵（spillback）到高速公路主线的拥堵，在下匝道上所花费的时间可以忽略不计。要计算车辆在高速公路上的行程时间，就要分开主线和上匝道两个方面考虑。对于高速公路主线，可以先计算每个路段内的车辆数，求和后得到(k-1,k]时段在高速公路主线上的全部车辆数，那么在这一时段内，所有存在于主线上的车辆所消耗的行程时间就是，由此可以得到在预测时段内所有在主线上出现过的车辆所消耗的行程时间；对于上匝道，由于匝道控制的存在，上匝道可能会在信号灯停止线前出现排队，对(k-1,k]时段所有上匝道排队车辆数目进行计算后，可以得出这一时段内所有车辆耗费在排队上的时间，由此可以得出在预测时段内所有车辆消耗在上匝道排队上的时间。这两个部分行程时间的计算构成了目标函数中的前两项。

匝道控制和可变限速的控制变量中不能发生太过剧烈的变化，造成驾驶员在现实世界中无法适应。为了抑制这两种控制方法的控制变量可能发生的剧烈波动，把相邻时段的控制变量进行差分平方后求和构造罚函数，防止在对PI进行优化的过程中采用极端波动的控制参数组合达到一个非常低的总出行时间，达到控制参数平缓变化的目的。

另外，对于上匝道排队，为了防止系统为了达到自身总行程时间降低的目的，把过多的通行需求全部积压在上匝道上，需要设置一个最大排队长度，其设置的标准是，匝道上的排队不会蔓延到匝道上游的道路，即发生回堵现象（Spillback）。当然，在主线已经拥挤或上匝道通行需求太大，已经超过系统自身调节极限的情况下，强行把最大排队长度作为硬约束来处理是不合适的，这样很可能会导致模型得不到可行解。把排队长度超出最大排队长度的比率平方后相加构造罚函数加入目标函数，既能抑制排队长度的增长抑制回堵现象，也能照顾到刚才提到的超过系统自身控制能力的极端情况。

目标函数中的后3项都是人为构造的罚函数。为了使量纲统一，乘以一个时间单位的量，代表控制变量的变化量或者排队回堵对控制变量实施的(k-1,k]时段的影响。