

# 北京大学

PEKING UNIVERSITY



## 芯片设计自动化与智能优化

2020-2021年春季学期

题    目：第三次作业: Timing Analysis

授课教师：林亦波

姓    名：麦景

学    号：1700012751

# 第三次作业: Timing Analysis

## 1 Exercise#1: Elmore delay

在这次练习中, 给定一个RC-tree, 我们需要根据 *Elmore Delay Model* 来计算delay和impulse. 不妨设点集和边集分别为  $V$  和  $E$ , 点  $v \in V$  的电容为  $C_v$ , 边  $e \in E$  的电阻为  $R_e$ . 设RC-tree的树根为  $root$ , 点  $v \in V$  的直接子节点为  $son_v$ , 父亲节点为  $fa_v$  且父边为  $fe_v$ .

我们分四步来计算delay和impulse. 首先, 计算每个节点的load, 记为  $L_v$ , 即为节点  $v$  子树中所有节点的电容之和, 即

$$L_v = \sum_{u \in son_v} L_u + C_v \quad (1)$$

然后, 我们计算每个节点的delay, 对于点  $v$ , 其delay  $d_v$  等于其到根节点  $root$  上所有点的load乘上父边的电阻之和, 即

$$d_v = d_{fa_v} + R_{fe_v} L_v \quad (2)$$

特别地, 根节点的delay恒为0. 为了计算impulse, 我们先计算一个中间变量  $ld_v$ , 其为点  $v$  所在子树中所有点的"电容×延迟"之和,

$$ld_v = \sum_{u \in son_v} ld_u + d_v C_v \quad (3)$$

然后利用如下公式就能算出impulse  $\hat{s}_v$ ,

$$\beta_v = \beta_{fa_v} + R_{fe_v} ld_v \quad (4)$$

$$\hat{s}_v^2 = 2\beta_v - d_v^2 \quad (5)$$

我们可以使用树形动态规划算法来求解, 其中计算  $L_v$  和  $ld_v$  时是自底向上的, 计算  $d_v$  和  $\beta_v$  时是自顶向下的, 时间复杂度均为  $O(|V|)$ .

## 2 Exercise#2: Setup Slack & Hold Slack

练习2的任务是给定一个有向无环的timing graph, 计算每个FF处的setup slack和hold slack. 不妨设点集和边集分别为  $V$  和  $E$ , 边  $e \in E$  的最小最大延迟分别为  $d_e^{early}$  和  $d_e^{late}$ , 起点和终点分别为  $from_e$  和  $to_e$ . 我们可以计算每个节点的最早到达时间  $AT_v^{early}$  和最晚到达时间  $AT_v^{late}$ :

$$AT_v^{early} = \min_{e \in prev_v} AT_{from_e}^{early} + d_e^{early} \quad (6)$$

$$AT_v^{late} = \max_{e \in prev_v} AT_{from_e}^{late} + d_e^{late} \quad (7)$$

其中  $prev_v$  是所有连向点  $v$  的边的集合, 按照拓扑序我们可以以  $O(|V| + |E|)$  的时间复杂度求解.

设时钟周期为  $T$ , 对于一个FF器件  $F$ , 设其clock pin为点  $F_{CK} \in V$ , 其data pin为点  $F_D \in V$  其可接受的最小steup time和hold time分别为  $t_F^{setup}$  和  $t_F^{hold}$ , 那么其setup slack和hold slack为:

$$slack_F^{steup} = T + AT_{F_{CK}}^{early} - t_F^{setup} - AT_{F_D}^{late} \quad (8)$$

$$slack_F^{hold} = AT_{F_D}^{early} - t_F^{hold} - AT_{F_{CK}}^{late} \tag{9}$$

求解setup slack和hold slack的时间复杂度为 $P(|V|)$ .