Branch Predictor模块功能描述和实现原理

在本次处理器设计中，Branch Predictor（BP）模块负责预测分支指令的行为，以提升指令流水线的效率。BP模块由多个子模块构成，包括Branch History Table（BHT）、Branch Target Buffer（BTB）、Global History Register（GHR）以及与BranchMask单元的接口。

1. Global History Register（GHR）

GHR是一个移位寄存器，用于记录最近分支指令的历史结果（taken或not taken）。在多发射处理器中，GHR的更新粒度基于fetch packet的大小，即每次更新对应一组p.CORE\_WIDTH宽度的指令。这种设计简化了GHR的更新逻辑，使其能够一次性处理多个指令的历史记录。

更新机制：当BranchMask模块发出should\_commit信号时，GHR会根据提供的分支结果进行更新，记录当前fetch packet的分支历史。

回滚机制：在分支预测错误时，BranchMask模块提供之前的GHR快照，BP模块将GHR回滚至该快照状态，以恢复正确的预测上下文。

2. Branch History Table（BHT）

BHT用于存储分支指令的历史行为模式，包含两个表：T\_table（taken表）和NT\_table（not taken表），以及一个选择器表choice\_table，用于在两者间选择。

表结构：T\_table和NT\_table采用饱和计数器设计，记录分支指令的taken或not taken倾向。choice\_table则通过计数器决定预测时使用哪个表。

预测逻辑：在取指阶段，BP模块根据当前PC和GHR的状态，从BHT中读取预测结果，决定是否跳转。

3. Branch Target Buffer（BTB）

BTB是一个高速缓存，用于存储分支指令的目标地址，提升分支预测的准确性和速度。

条目结构：每个BTB条目包含有效位、目标地址、是否为条件分支以及PC的高位标签。

命中逻辑：在取指时，BP模块检查BTB中是否存在与当前PC匹配的条目。若命中且预测为taken，则使用BTB中的目标地址作为下一个PC。

4. 与BranchMask单元的接口

BranchMask单元负责管理分支指令的掩码，并通过should\_commit信号触发BP模块的更新和恢复操作。

更新信号：当BranchMask发出should\_commit信号时，BP模块更新GHR、BHT和BTB，确保预测器与实际执行结果一致。

回滚机制：在预测错误时，BranchMask提供GHR快照，BP模块据此回滚GHR并通知流水线冲刷错误指令。

5. 多发射支持

BP模块支持多发射处理器，能够同时为fetch packet中的多个指令进行预测。

并行预测：每个时钟周期，BP模块检查fetch packet中每条指令的PC是否命中BTB，并根据BHT结果预测是否跳转。

优先级逻辑：若多个分支指令命中BTB，BP模块选择第一个预测为taken的分支，并使用其目标地址作为下一个PC。

6. 更新逻辑

BP模块在分支指令执行后更新预测器，确保其准确性。

BHT更新：根据分支指令的实际结果（taken或not taken），更新T\_table或NT\_table中的饱和计数器，并调整choice\_table的选择倾向。

BTB更新：若分支指令为新指令或目标地址发生变化，更新BTB条目，包括目标地址和条件分支标记。

7. 恢复机制

分支预测错误时，BP模块通过以下步骤快速恢复：

GHR回滚：利用BranchMask提供的快照bu\_signal信号将GHR恢复至错误预测前的状态。

流水线冲刷：通知流水线冲刷错误的指令，并从正确的PC重新取指。