

# AzureMIPS——顺序双发射 11 级流水处理器

## NSCSCC2022 决赛答辩

李睿潇、朱元依、张政镒、李少群

复旦大学

2022 年 8 月 20 日

- ① 工作介绍
- ② 处理器介绍
- ③ 系统设计



- ① 工作介绍
- ② 处理器介绍
- ③ 系统设计



# 开发语言



(a) Scala



(b) SpinalHDL

图 1: Scala 与 SpinalHDL

参数化、灵活、可读性高。

SpinalHDL 相比于 Chisel 更有独特的优势

## ① 工作介绍

## ② 处理器介绍

处理器整体架构  
流水线设计  
分支预测设计  
高速缓存设计

## ③ 系统设计

## ① 工作介绍

## ② 处理器介绍

处理器整体架构

流水线设计

分支预测设计

高速缓存设计

## ③ 系统设计

# 前端架构

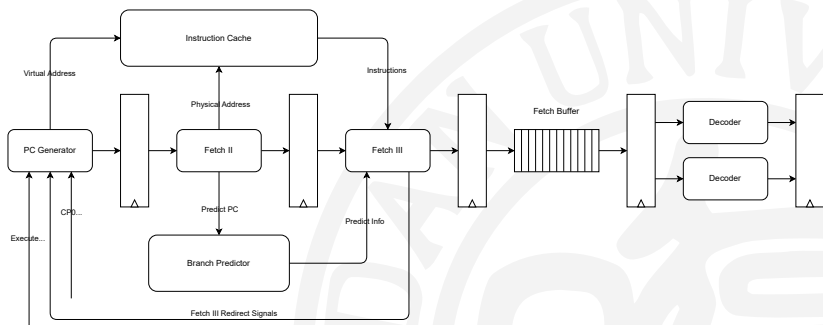


图 2: 前端架构设计简图

# 后端架构

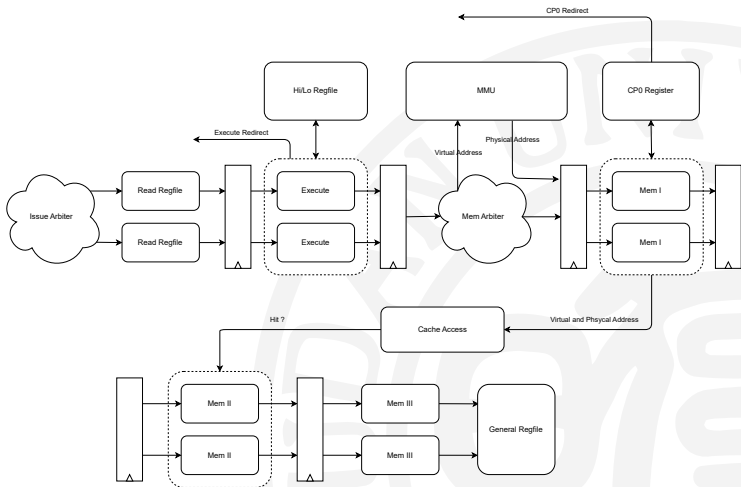


图 3: 后端架构设计简图



## ① 工作介绍

## ② 处理器介绍

处理器整体架构

流水线设计

分支预测设计

高速缓存设计

## ③ 系统设计

# 取指

- 取指流水线
  - Fetch 1: 仲裁 PC, 发送虚拟地址至 ICache
  - Fetch 2: 发送通过 MMU 获得的物理地址, 若有异常, 则作标记
  - Fetch 3: 对 ICache 返回的指令作**分支快速译码**, 判断出分支指令, 必要时进行 PC 重定向
- 取指缓冲
  - 16-Entries 指针 FIFO
  - 每周期最多“4 进 2 出”
  - 跳过非分支延迟槽中的空指令
- 分支预测
  - RAS 分支预测
  - Bi-Mode 分支预测器
  - 256-Entries BTB

# 取指缓冲对双访存的优化

```
1  sw t8, 0(a3)
2  lw t7, 8(t0)
3  nop
4  sw t7, 8(a3)
5  lw t6, 12(a0)
6  nop
7  sw t6, 12(a3)
8  lw t5, 16(a0)
9  nop
10 sw t4, 20(a3)
11 lw t3, 24(t0)
12 nop
13 ...
```

```
1  sw t8, 0(a3)
2  lw t7, 8(t0)
3
4  sw t7, 8(a3)
5  lw t6, 12(a0)
6
7  sw t6, 12(a3)
8  lw t5, 16(a0)
9
10 sw t4, 20(a3)
11 lw t3, 24(t0)
12
13 ...
```

# 译码、发射与读寄存器

- 译码
  - 译码模块单独占一个流水级
  - 将指令译成对应的 uOp, 并译出必要信息
  - 判断是否为保留指令或会触发协处理器不可用的指令, 并作标记
- 发射
  - 组合逻辑, 与读寄存器共占一级流水级
  - 进行单发射仲裁
- 读寄存器
  - 后续流水级旁路和通用寄存器堆间的数据仲裁
  - 当所需数据在流水线中还没被计算出来时, 暂停操作
  - **提前计算跳转地址**供执行阶段进行分支预测正确性检验

# 执行

- 执行
  - 对于普通运算指令，执行阶段直接计算结果并放入流水线中
  - 对于访存指令，执行阶段计算其访存地址
    - 在初赛提交中，本周期还会进行访存地址冲突检查
    - 在决赛提交中，访存地址冲突检查移到单独一级流水
  - 对于多周期指令，执行单元请求流水线暂停，直到其执行完毕
  - 执行单元直接和 Hi/Lo 寄存器交互，故不需要对 Hi/Lo 寄存器作旁路转发
  - 如果指令需要跳转，执行单元会发出跳转信号

# 执行

通过参数化标记,上下两个执行单元有着**不一样的功能,但用着同一份代码。**

只有上执行单元拥有处理分支指令的能力,去除了无用的冗余,也不引来额外的麻烦。

```
1 class SingleExecute(  
2     advanced : Boolean = true  
3 ) extends Component {  
4     ...  
5 }  
6  
7 class Execute extends Component {  
8     ...  
9     val units = Seq(  
10         new SingleExecute(true),  
11         new SingleExecute(false)  
12     )  
13     ...  
14 }
```

# 访存

**访存冲突与虚实转换流水级：**该级为决赛提交中拥有的一级流水级，原因在于决赛提交版本中含有 TLB，访问需要较长的时间，因此我们对流水线再次进行了切分，其主要功能如下

- 地址冲突检查
  - 若出现同时写同一个字对齐后的地址，则进行单发调度
  - 若出现使用不同数据通路（DCache 与 Uncache）的地址，则进行单发调度
- 虚实地址转换
  - 访问 TLB，获得 VPN 对应的 PFN
  - 若出现 TLB 异常，则对指令作标记，在下一周期中处理

# 访存

- 访存第一阶段
  - 向 CacheAccess 发送虚拟地址与物理地址，拉起访存请求
  - 将指令的异常信息交付异常处理单元
- 访存第二阶段
  - 等待 CacheAccess 返回 Hit 信号
- 访存第三阶段
  - 收到返回的数据，写回通用寄存器堆



## ① 工作介绍

## ② 处理器介绍

处理器整体架构  
流水线设计  
分支预测设计  
高速缓存设计

## ③ 系统设计

# Bi-Mode 分支预测器

- 借鉴于玄铁 910 的分支预测设计
- 融全局与局部为一体
- 分表存储，降低混叠

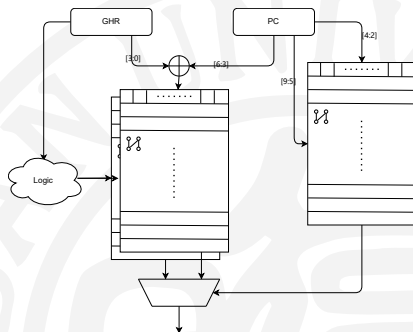


图 4: 分支预测图示

# 分支预测准确率

表 1: 性能测试中的分支预测表现

程序	准确率	程序	准确率
bubble sort	70.1%	coremark	77.3%
crc32	95.3%	dhrystone	96.0%
quick sort	75.5%	select sort	92.1%
sha	97.6%	stream copy	97.1%
stringsearch	88.4%		

## 1 工作介绍

## 2 处理器介绍

处理器整体架构

流水线设计

分支预测设计

高速缓存设计

指令高速缓存

数据高速缓存

## 3 系统设计

- 4 路组相联
- 4 Banks
- 每周期可返回 128 bit 数据 (4 条指令)
- 取指合并
  - 由于不能保证所需的 4 条指令在同一个缓存行中, 因此每周期需要取两条 Cache Line

# 数据高速缓存



## ① 工作介绍

## ② 处理器介绍

## ③ 系统设计

PMON

uCore

Linux

## ① 工作介绍

## ② 处理器介绍

## ③ 系统设计

PMON

uCore

Linux



- 成功启动 PMON
- 正确运行 PMON 的全部指令

```

serial-com3 (1) - SecureCRT
File Edit View Options Transfer Script Tools Window

Help
serial-com3 (1) x
^
^

#MN20000 kbps Initializing, Standby...
ERRORC=000000000 CWR10=80000000
R0=000000000000
00 to nothing...
getenv: CACHED_FOPEN
init CACHED_FOPEN, CFW = 800000002
47500000
Copy MN2000 to execute location...
start = 0x57000000
SD = 0x80000000
..._edita = 0x57000010
..._end = 0x57000020
47500000
Copy text section done.
Copy MN2000 to execute location done.
R0=0000000000
Uncompressing blob
no existing blob....
FREE
FREE
FTE time invalid, reset to epoch.
FREE
ENVI
ENVI
READY
in envinit
env=000000000
blob is invalid!
init CACHED_FOPEN
STW
env=0000000000
ready above this point
is already above this point
GINI
==ginfo: ginfo status 0
NETI
RTCL
==before configure
in configure...
mainbusd (root)
set busid to mainbusd
in if attach... address 00:90:76:64:32:19
in if attach... address 00:90:76:64:32:19
==before init p2 kbd
mnenv0: done
ffio: done.
dmain0: done.
init_0: done...
NETI
SWK
SWK

#MN20000 Professional*
version: 000000000000
version: #MN20000 2021 1110 #428: Sat Jan 13 07:34:15 UTC 2022 commit 45647360
Copyright 2002-2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584
```

## ① 工作介绍

## ② 处理器介绍

## ③ 系统设计

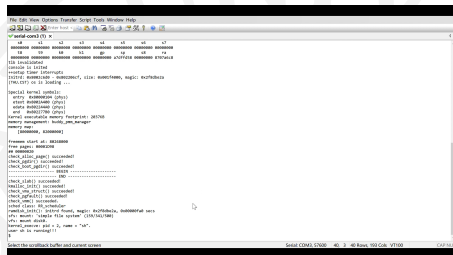
PMON

uCore

Linux



- 成功启动 uCore
- 并能正确运行 uCore 的指令:
  - sh
  - cat
  - ls
  - hello
  - forktest
  - hash



## ① 工作介绍

## ② 处理器介绍

## ③ 系统设计

PMON

uCore

Linux

# Linux

- 尝试启动 Linux, 但未能成功

