Embedded Systems and Hardware/Software Codesign

مرتضي صاحب الزماني

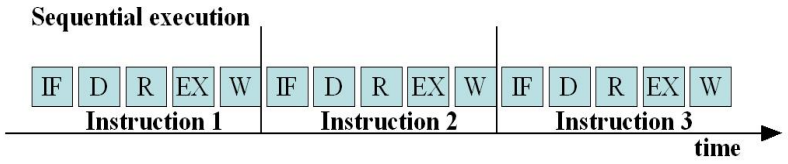
انواع طراحی سیستم دیجیتال بزرگ

- پیاده‌سازی نرم‌افزاری:
  - اجرای برنامه کاربردی با پردازنده نهفته و برنامه سطح بالا روی آن
- پیاده‌سازی سخت‌افزاری:
  - طراحی سخت‌افزار خاص‌منظوره
    - کد HDL و سنتز و ...
    - منابع سخت‌افزاری FPGA (logic blocks، Multipliers، ...)

انواع طراحی سیستم‌های دیجیتال بزرگ

- تفاوت‌ها:
  - نرم‌افزاری:
    - انعطاف بالا
    - توصیف الگوریتم به زبان سطح بالا آسان
  - سخت‌افزاری:
    - سرعت بالا
    - هزینه بالا

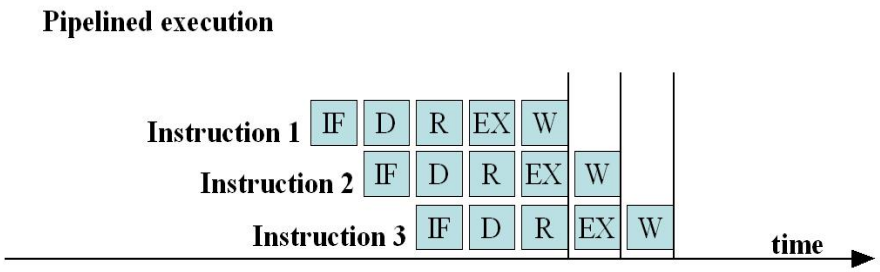
معماری فون نویمن Von Neumann



- **اجرای سریال**

t_{cycle} = cycle execution time ⮜

- یک دستورالعمل: $t_{instruction} = 5*t_{cycle}$
- سه دستورالعمل: $15*t_{cycle}$



- **Pipelining:**
  - یک دستورالعمل: $t_{instruction} = 5*t_{cycle}$
  - سه دستورالعمل: $7*t_{cycle}$ در حالت ایده‌آل
- **throughput** ← بالاتر

- با وجود بهبودهای خط لوله و حافظهٔ نهان و ...، هنوز ماهیت معماری فون نویمن اجرای سریال است.

پیاده‌سازی سخت‌افزاری

- مقایسهٔ پیاده‌سازی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری:

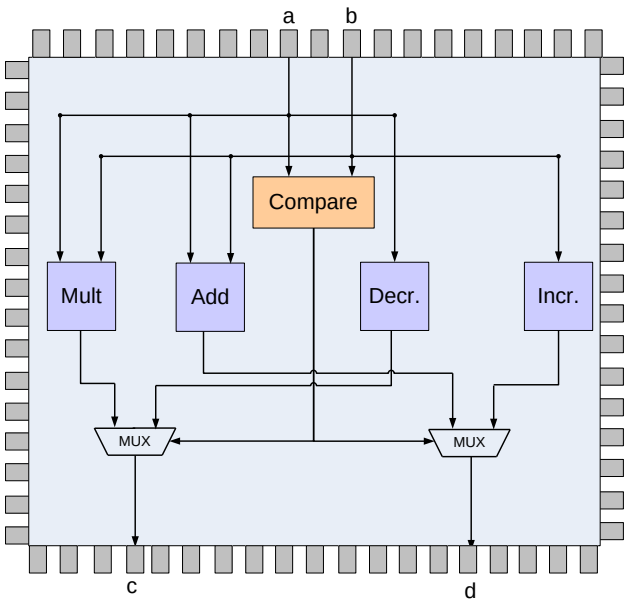
```
if (a < b) then
{
    d = a+b;
    c = a*b;
}
else
{
    d = a+1;
    c = b-1;
}
```

➢ نرم‌افزاری:

- حداقل ۳ دستور
- زمان اجرا: $3*t_{instruction}$

➢ سخت‌افزاری:

- اجرای موازی
- زمان اجرا: t_{clock} : تأخیر بلندترین مسیر از ورودی تا خروجی



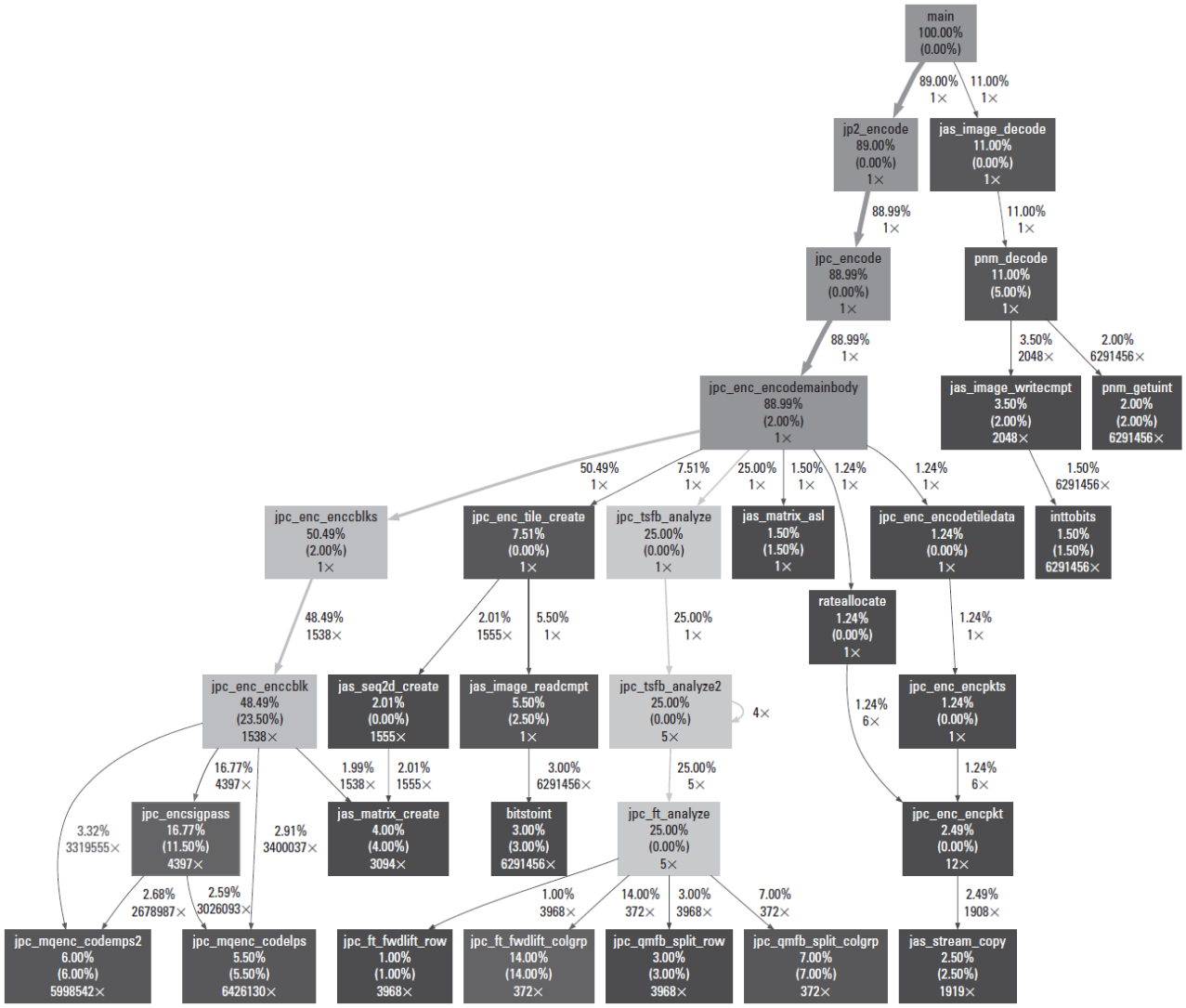
انواع طراحی سیستم‌های دیجیتال بزرگ

- روش سوم:
  - استفاده از مزایای هر دو:
    - پیاده‌سازی بخش‌های غیربحرانی با نرم‌افزار (کنترل هزینه)
    - پیاده‌سازی بخش‌های بحرانی روی سخت‌افزار

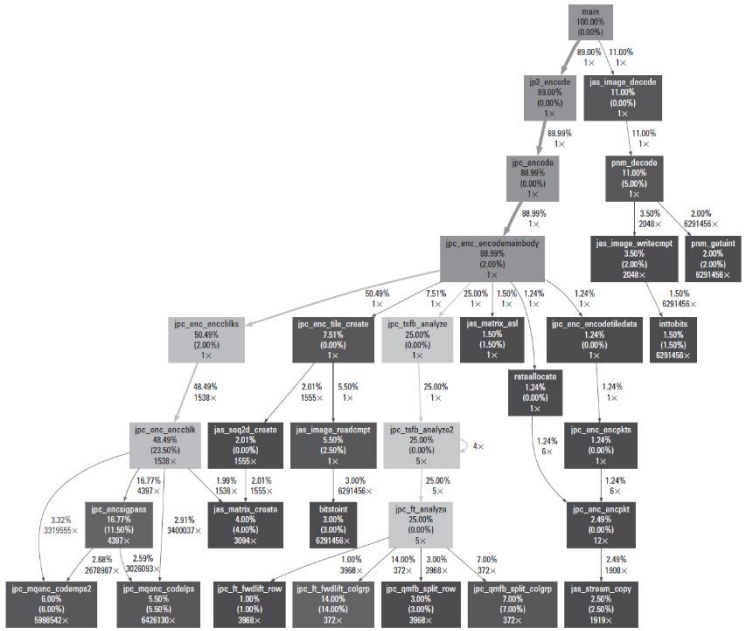
انواع طراحی سیستم‌های دیجیتال بزرگ

- طراحی توامان
  - افراز (partitioning)
    - تحلیل زمانی + تحلیل هزینه + تحلیل توان مصرفی
    - سعی و خطا ← بهترین افراز

JPEG Encoder



JPEG Encoder

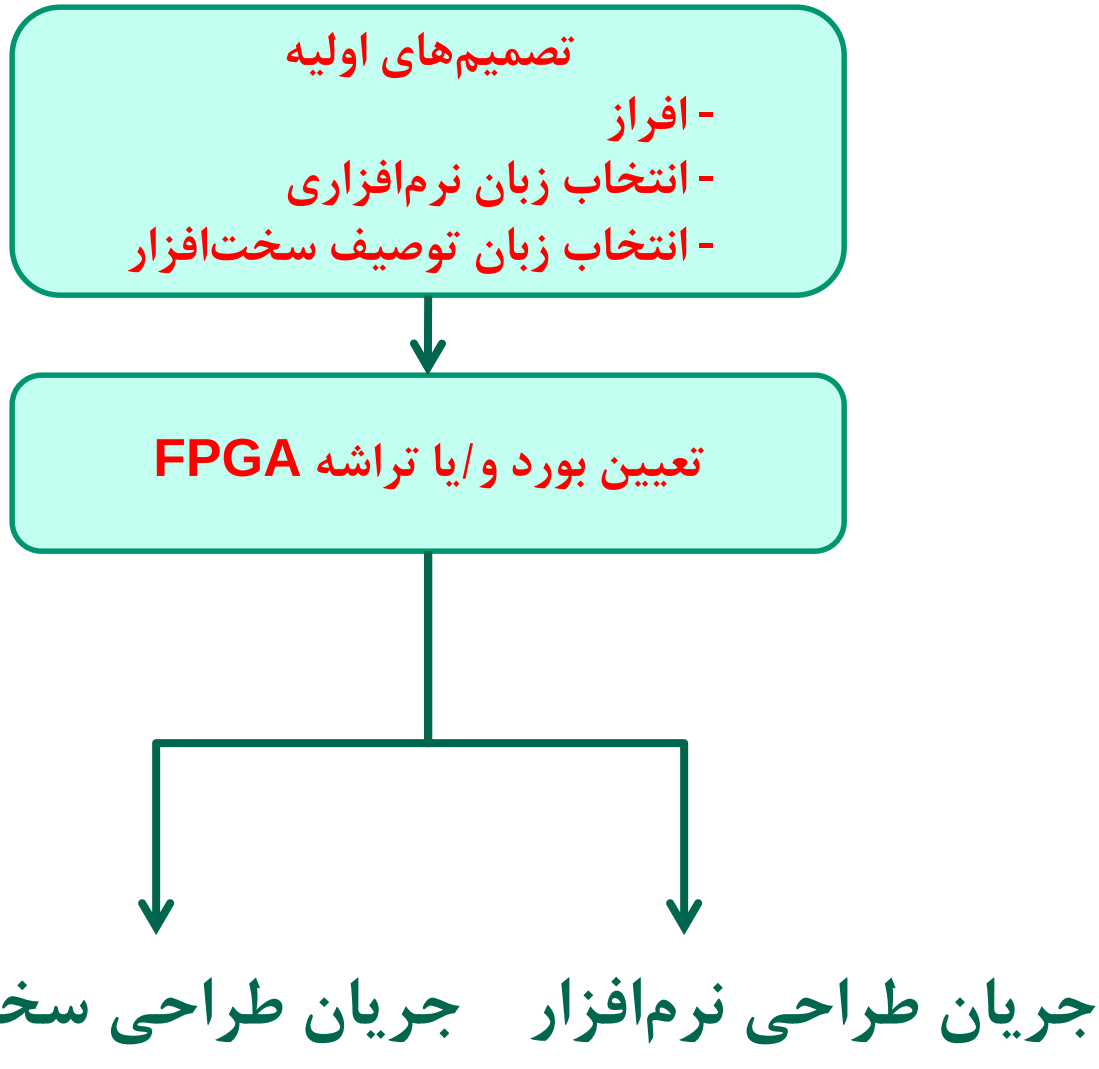


- Profiling:

gprof در Linux

- ۱۱٪- خواندن تصویر
- ۸۹٪- کد کردن

جریان طراحی توأمان



جریان طراحی

- **انتخاب بورد:**
  - **بوردهای توسعه در فهرست**
    - مشخصات کامل (نوع تراشه FPGA + امکانات ارتباطی + تراشه‌های جانبی + اتصال پین‌ها) موجود است
  - **بورد خودتان:**
    - مشخصات را بدهید
- **به هر حال نوع تراشه مشخص می‌شود.**

جریان طراحی توأمان

جریان طراحی نرم‌افزار

ایجاد پروژه نرم‌افزار

توسعه نرم‌افزار

کامپایل و لینک

انتقال برنامه به حافظه

جریان طراحی سخت‌افزار

تعیین پردازنده و پیکربندی آن

افزودن وسایل جانبی و هسته‌های سخت‌افزاری

انتخاب نوع ارتباط وسایل جانبی با پردازنده

مجتمع‌سازی بخش‌های سخت‌افزاری

سنتز، جایابی، و مسیریابی

تولید دنباله بیتی

انتقال به FPGA

- جریان نرم‌افزار مستقل از جریان سخت‌افزار نیست.
  - نوع پردازنده، پیکربندی آن، نحوه ارتباط نرم‌افزار با سخت‌افزار

جریان طراحی سخت‌افزار

- تعیین پردازنده:
  - پردازنده سخت:
    - سریع، مساحت کمتر، توان مصرفی کم
    - عدم نیاز به استفاده از Logic Blockها
    - یکی یا بیشتر
      - ARM Cortex
      - PowerPC
  - پردازنده نرم

جریان طراحی سخت‌افزار

- تعیین پردازنده:
  - پردازنده نرم
    - PicoBlaze (Xilinx)
    - MicroBlaze (Xilinx)
    - NIOS II (Altera)
    - OR1200 (Open Cores) (متن باز)
      - اگر تراشه دارای هسته سخت دارد، استفاده از نرم توجیه چندانی ندارد)
      - انعطاف‌پذیری بالا (پیکربندی و تنظیم پارامترها بسته به کاربرد)
        - مثال: استفاده از PicoBlaze ۸ بیتی بجای پردازنده قوی
        - مجموعه دستورالعمل‌ها
        - عمق خط لوله دستورالعمل‌ها
        - ....

جریان طراحی سخت‌افزار

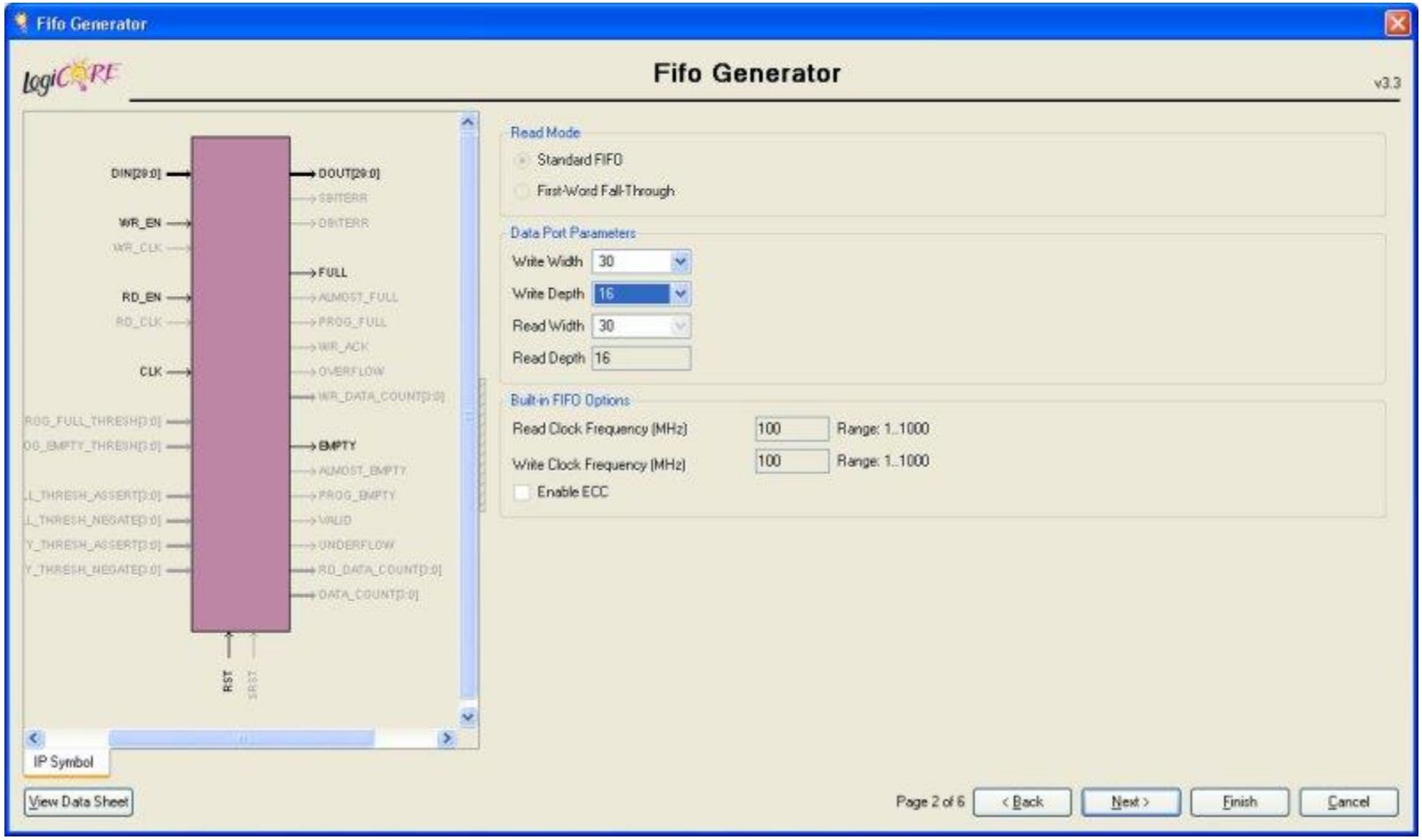
- پیکربندی پردازنده:
  - فرکانس ساعت
  - پهنای باس داده و آدرس
  - اندازه حافظه نهان داده و دستورالعمل
  - نوع گذرگاه ارتباطی
  - خصوصیات Reset (مثبت یا منفی)
  - FPU؟ و تنظیمات آن
  - ...

افزودن وسایل جانبی و هسته‌های سخت‌افزاری

- سخت‌افزار جانبی:

1. انتخاب بلوک‌های IP آماده در کتابخانه ابزار و پیکربندی آن
   - کنترلر حافظه (پیکربندی مشخصات حافظه)
   - مدار UART (تنظیم نرخ ارسال/دریافت داده، اندازه داده و نوع توازن)
   - FIFO با ابعاد مشخص
2. خرید IP از شرکت‌های طراح
3. طراحی مستقل بلوک (در ابزار نیست و خرید مقرون به صرفه نیست)
   - توصیف با VHDL یا Verilog
   - سنتز و ....

Xilinx Core Generator

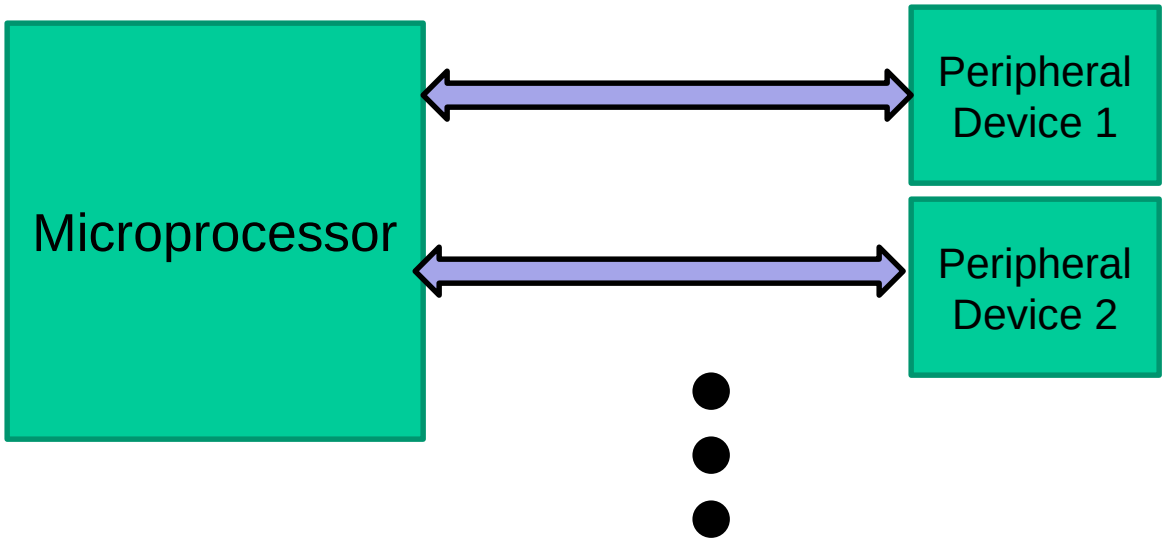


انتخاب نوع ارتباط وسایل جانبی با پردازنده

- دو نوع:
  - ارتباط نقطه به نقطه
  - گذرگاه (bus)

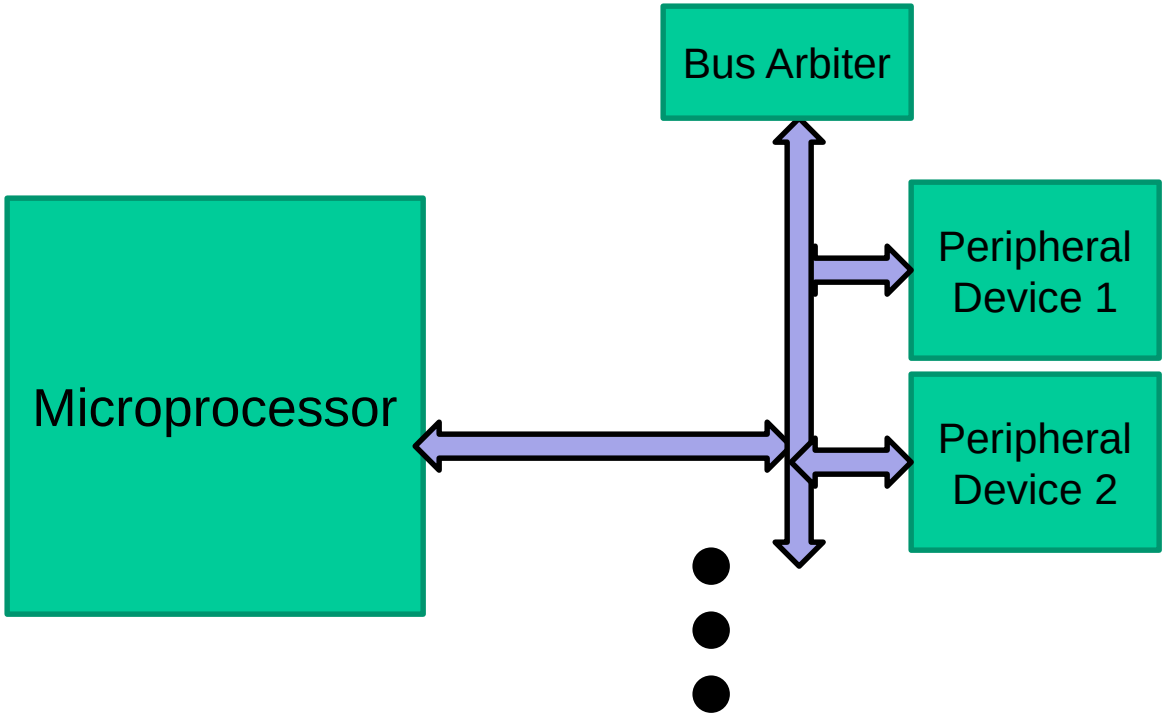
انتخاب نوع ارتباط وسایل جانبی

- ارتباط نقطه به نقطه
  - داده‌ها: به صورت دنباله
  - نمونه: FSL (شرکت LogiCore)
    - ارتباط مبتنی بر FIFO



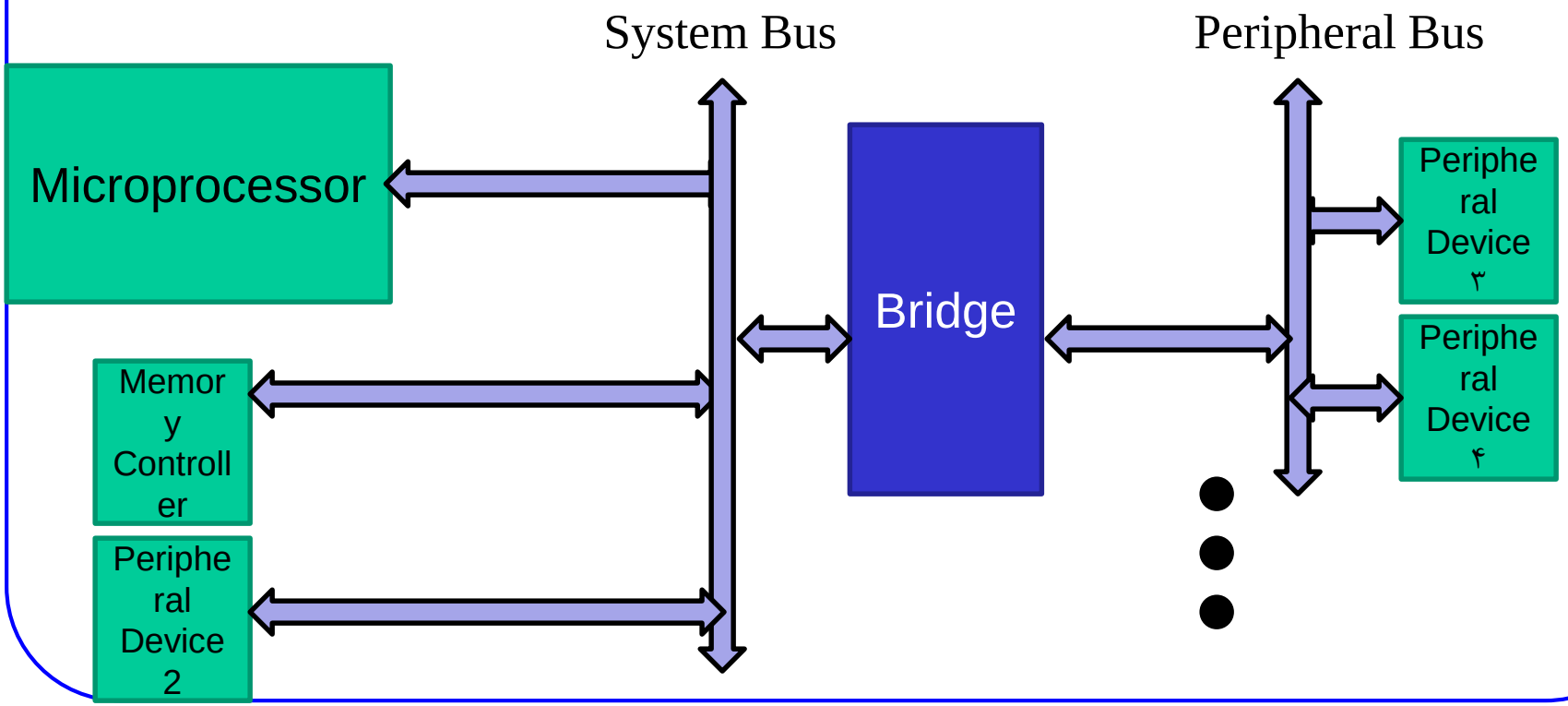
انتخاب نوع ارتباط وسایل جانبی

- گذرگاه (bus)
  - چند سخت‌افزار جانبی با اتصالات مشترک
  - درخواست استفاده از گذرگاه توسط داور بررسی (پذیرفته یا رد) می‌شود



انتخاب نوع ارتباط وسایل جانبی

- گذرگاه (bus)
  - دو گذرگاه با سرعت‌های مختلف: سریع‌ها روی گذرگاه سیستم (حافظه‌ها و ....) کندها روی گذرگاه جانبی (RS232، GPIO)



انواع گذرگاه

- گزینه‌ها:
  - تفاوت در کارایی و هزینه سخت‌افزاری (LEها)
  - PLB (Xilinx) از کتابخانه CoreConnect برای ارتباط وسایل جانبی سریع
    - هنوز در ابزارها موجود است
    - داده ۱۲۸ بیتی
    - هزینه بالا

انواع گذرگاه

- گزینه‌ها:
  - AXI (Xilinx) مبتنی بر AMBA (شرکت ARM)
  - برای ارتباط وسایل جانبی سریع (مانند حافظه و اترنت)
    - برای حافظه داخلی FPGA از LMB استفاده می‌شود.
    - در ابزارهای جدیدتر
    - AXI-Lite برای وسایل جانبی کندتر (UART یا صفحه کلید)

انواع گذرگاه

- گزینه‌ها:
  - Avalon (Altera)
    - Avalon-ST: نقطه به نقطه
    - Avalon-MM: گذرگاه مشترک
  - Wishbone (SiliCore)
    - متن باز ← قابل تغییر

- طراح انتخاب می‌کند – ابزار سخت‌افزار ایجاد می‌کند

مجتمع‌سازی بخش‌های سخت‌افزاری

- مجتمع‌سازی
  - پردازنده(ها)
  - سیستم ارتباطی
  - سخت‌افزارهای جانبی و حافظه‌ها
- تولید دنباله بیتی
- Export به محیط نرم‌افزار:
  - ارسال مشخصات hardware platform ←

جریان توصیف نرم‌افزار

- مراحل
  - ایجاد پروژه (C یا C++)
  - برنامه نویسی
    - معمولا ویرایش الگوهای موجود
  - ارتباط با سخت‌افزار به کمک APIها
  - اشکال‌زدایی
  - انتقال برنامه به حافظه
    - داخلی FPGA یا خارجی (اگر جا نشد)

نکات متفرقه

- سیستم چندپردازنده‌ای
- پیاده‌سازی
  - سیستم پایه
  - سیستم عامل:
    - حافظه مجازی
    - مدیریت پردازش چندنخی
    - ....
    - مثال: سیستم عامل لینوکس روی FPGA ← امکان اجرای انواع نرم‌افزارهای موجود
      - سربار زیاد (سیکل اضافه پردازنده، حافظه، توان)
      - ← فقط وقتی که لازم است