به نام خداوند بخشنده مهربان

مدارهای منطقی

Digital Logic Circuits

جناب آقای دکتر حسین آقابابا

یاشار ابری

دانشکده مهندسی، دانشگاه تهران

Yasharabri.ut.ac.ir@gmail.com

yasharabri@ut.ac.ir

منبع

- Text book: V. P. Nelson, H. T. Nagle, B. D. Carroll and J. D. Irwin, Digital Logic Circuit Analysis and Design, Prentice Hall, ۱۹۹۵, ISBN ۰-۱۳-۴۶۳۸۹۴-۸.

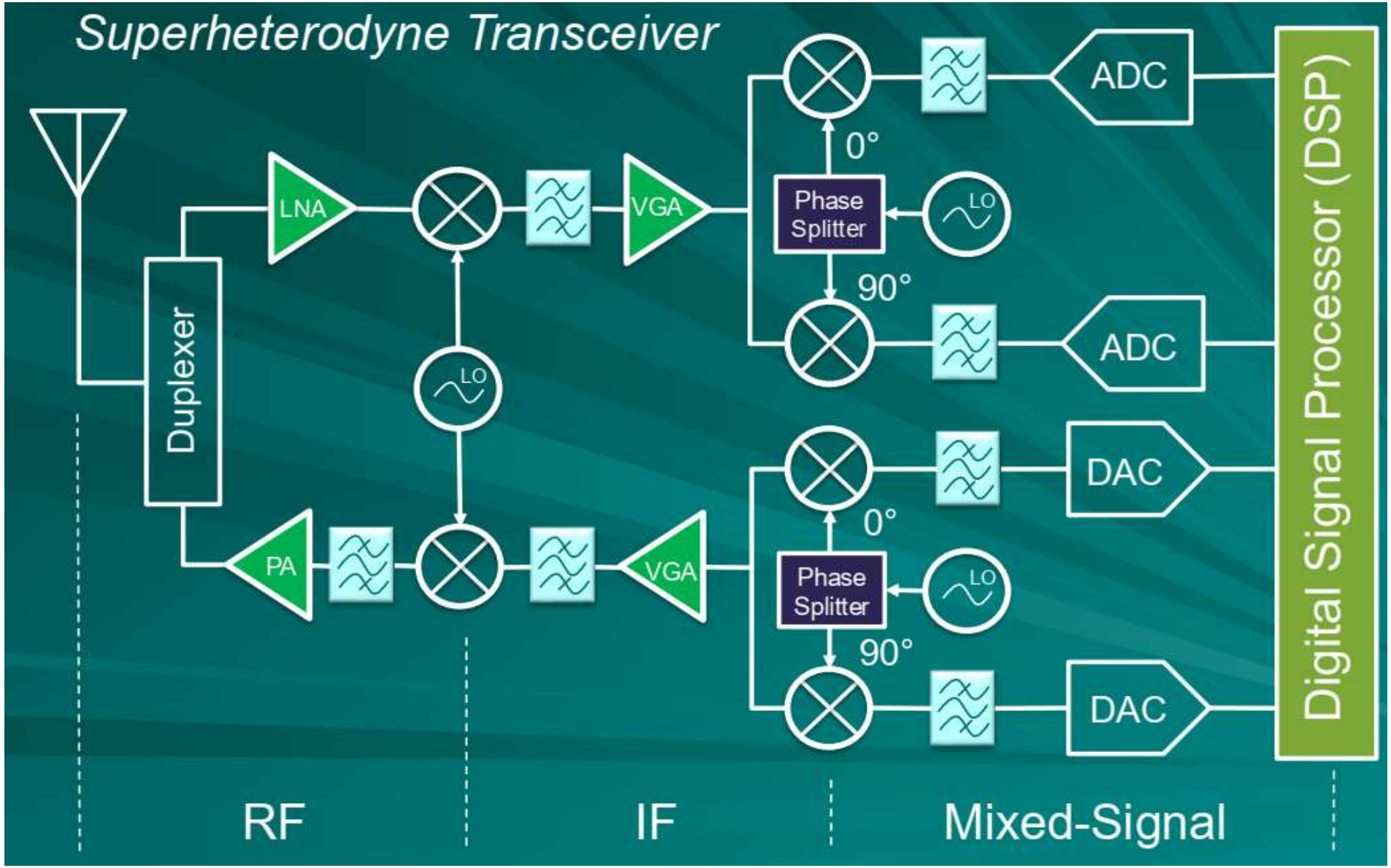
هدف دوره

- این دوره دانشجویان را با طراحی مدارهای منطقی دیجیتال، چه ترکیبی و چه ترتیبی، و طراحی سیستم‌های دیجیتال به شیوه‌ای سلسله‌مراتبی و از بالا به پایین آشنا می‌کند. همچنین دانشجویان با استفاده از ابزارهای طراحی به کمک کامپیوتر که برای توسعه مدارهای دیجیتال استفاده می‌شوند، آشنا می‌شوند.

سیستم‌های الکترونیکی

- مثال ۱: فرستنده-گیرنده تلفن همراه.
- مثال ۲: رایانه دیجیتال

سیستم ارتباطی فرکانس رادیویی (RF Communications System)



سیستم ارتباطی فرکانس رادیویی (RF Communications System)

- این سیستم ارتباطی RF (فرکانس رادیویی)، یک سیستم Superheterodyne Transceiver (فرستنده-گیرنده سوپر-هترودین) است. این نوع سیستم‌ها به دلیل دقت بالا و توانایی تفکیک سیگنال‌ها، در اکثر تجهیزات پیشرفته مخابراتی استفاده می‌شوند.

- اجزای بر اساس جریان سیگنال (از آنتن تا پردازش دیجیتال) در ادامه توضیح داده می‌شود.

بخش گیرنده (Receiver Path)

- هدف این بخش، دریافت سیگنال ضعیف از هوا و تبدیل آن به داده‌های دیجیتال است.
- **Duplexer (دوپلکسر):** اولین قطعه پس از آنتن است. وظیفه آن جدا کردن سیگنال فرستنده از گیرنده است تا فرستنده باعث آسیب دیدن گیرنده نشود (اجازه می‌دهد از یک آنتن برای هر دو استفاده کنید).
- **LNA (Low Noise Amplifier):** اولین تقویت‌کننده در مسیر گیرنده است. چون سیگنال دریافتی بسیار ضعیف است، LNA آن را تقویت می‌کند، اما با دقت بالا انجام می‌دهد تا "نویز" (پارازیت) اضافه وارد سیستم نشود.
- **LO (Local Oscillator - نوسان‌ساز محلی):** یک منبع فرکانس است که برای فرآیند Mix (ترکیب) استفاده می‌شود.
- **Mixer (میکسر - بخش IF):** سیگنال RF دریافتی را با فرکانس LO ترکیب می‌کند تا به یک فرکانس میانی یا همان IF (Intermediate Frequency) تبدیل شود. (این هسته اصلی روش Superheterodyne است).

بخش گیرنده (Receiver Path)

- **VGA (Variable Gain Amplifier):** تقویت‌کننده‌ای است که توان خروجی آن قابل تنظیم است تا سطح سیگنال را برای مراحل بعدی مدیریت کند.
- **ADC (Analog to Digital Converter):** سیگنال آنالوگ (موج) را به داده‌های دیجیتال (۰ و ۱) تبدیل می‌کند تا برای پردازش آماده شود.
- **DSP (Digital Signal Processor):** مغز متفکر سیستم است که داده‌های دیجیتال را تحلیل، فیلتر و پردازش می‌کند.



بخش فرستنده (Transmitter Path)

- هدف این بخش، تبدیل داده‌های دیجیتال به موج رادیویی قوی برای ارسال است.
- **DAC (Digital to Analog Converter):** داده‌های دیجیتال را از DSP می‌گیرد و دوباره به سیگنال‌های آنالوگ تبدیل می‌کند.
- **LO (Local Oscillator):** دوباره برای فرآیند تبدیل فرکانس (از IF به RF) نیاز داریم.
- **Mixer:** سیگنال IF را با فرکانس LO ترکیب می‌کند تا سیگنال به فرکانس رادیویی (RF) مورد نظر برای ارسال برسد.
- **PA (Power Amplifier):** آخرین مرحله قبل از خروج سیگنال. سیگنال را به شدت تقویت می‌کند تا بتواند مسافت زیادی را در هوا طی کند.
- **Duplexer:** مجدداً سیگنال تقویت شده را از مسیر گیرنده جدا کرده و فقط به سمت آنتن هدایت می‌کند.

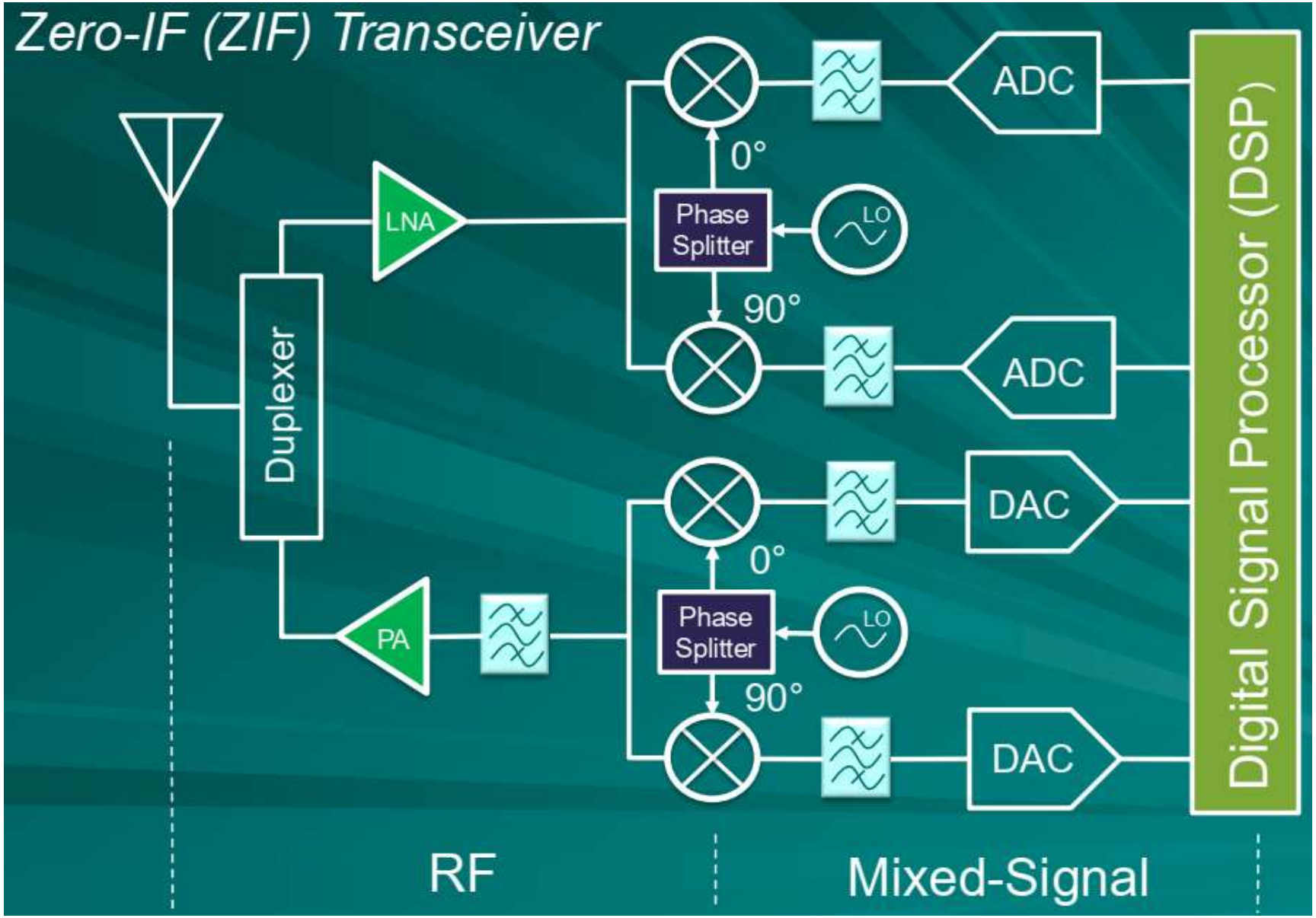
بخش‌های کنترلی و مدیریت فاز (IQ Modulation/Demodulation)

- اشاره به 90° Phase Splitter و 0° Phase Splitter نشان‌دهنده استفاده از تکنیک IQ Modulation است. برای اینکه بتوانیم اطلاعات را روی موج رادیویی سوار کنیم، از دو سیگنال استفاده می‌کنیم:
  - **Splitter (شکافنده):** سیگنال LO را به دو بخش تقسیم می‌کند.
  - **0° Phase Splitter:** یک کپی از سیگنال را بدون تغییر فاز (۰ درجه) می‌دهد (کانال I).
  - **90° Phase Splitter:** یک کپی از سیگنال را با اختلاف فاز ۹۰ درجه می‌دهد (کانال Q).
- این دو کانال (I و Q) به میکسرها متصل می‌شوند تا بتوانند "دامنه" و "فاز" موج را به صورت مستقل کنترل کنند (که پایه و اساس تمام ارتباطات مدرن مثل G۵G/۴ و WiFi است).

چرا این نام گذاری؟

- **Mixed-Signal:** به این دلیل است که سیستم هم با جریان‌های آنالوگ (موج) و هم با جریان‌های دیجیتال (داده) سروکار دارد.
- **Superheterodyne:** به این دلیل است که فرکانس سیگنال را در یک مرحله میانی (IF) تغییر می‌دهیم تا پردازش آن (فیلتر کردن و تقویت) بسیار دقیق‌تر انجام شود.

یک سیستم ارتباطی RFجایگزین



یک سیستم ارتباطی RFجایگزین

- Zero-IF (ZIF) Transceiver به آن معماری Direct Conversion یا تبدیل مستقیم هم می‌گویند.
- تفاوت اصلی این سیستم با سیستم قبلی (Superheterodyne) در این است که در اینجا فرکانس میانی (IF) حذف شده است. سیگنال مستقیماً از فرکانس RF به فرکانس پایه (Baseband/Zero Frequency) تبدیل می‌شود.

- در ادامه اجزا را بر اساس جریان سیگنال در یک معماری Zero-IF بررسی می‌کنیم.

بخش گیرنده (Receiver Pathمستقیم)

- در این معماری، ما دیگر مرحله IF نداریم، بنابراین سیگنال مستقیماً به سمت پردازنده می‌رود.
- **Duplexer:** همانند سیستم قبل، وظیفه جدا کردن مسیر ارسال از دریافت را دارد.
- **LNA (Low Noise Amplifier):** سیگنال بسیار ضعیف آنتن را با کمترین نویز ممکن تقویت می‌کند.
- **LO (Local Oscillator) & Phase Splitters (۰° & ۹۰°):** در اینجا نقش حیاتی دارند. LO سیگنال را به دو بخش با فاز ۰ و ۹۰ درجه تقسیم می‌کند تا دو کانال I (In-phase) و Q (Quadrature) ساخته شوند.

بخش گیرنده (Receiver Pathمستقیم)

- **Mixer (میکسر مستقیم):** برخلاف سیستم قبلی که سیگنال را به فرکانس IF می‌برد، در اینجا میکسر سیگنال RF را با LO طوری ترکیب می‌کند که فرکانس خروجی دقیقاً صفر (یا همان فرکانس پایه) شود.
- **ADC (Analog to Digital Converter):** چون سیگنال مستقیماً در فرکانس پایه است، ADC بلافاصله سیگنال‌های I و Q آنالوگ را به داده‌های دیجیتال تبدیل می‌کند.
- **DSP (Digital Signal Processor):** داده‌های دیجیتال را پردازش می‌کند. (در سیستم ZIF، بخش زیادی از کارِ فیلتر کردن که در سیستم قبلی توسط قطعات آنالوگ انجام می‌شد، اینجا به عهده DSP است).

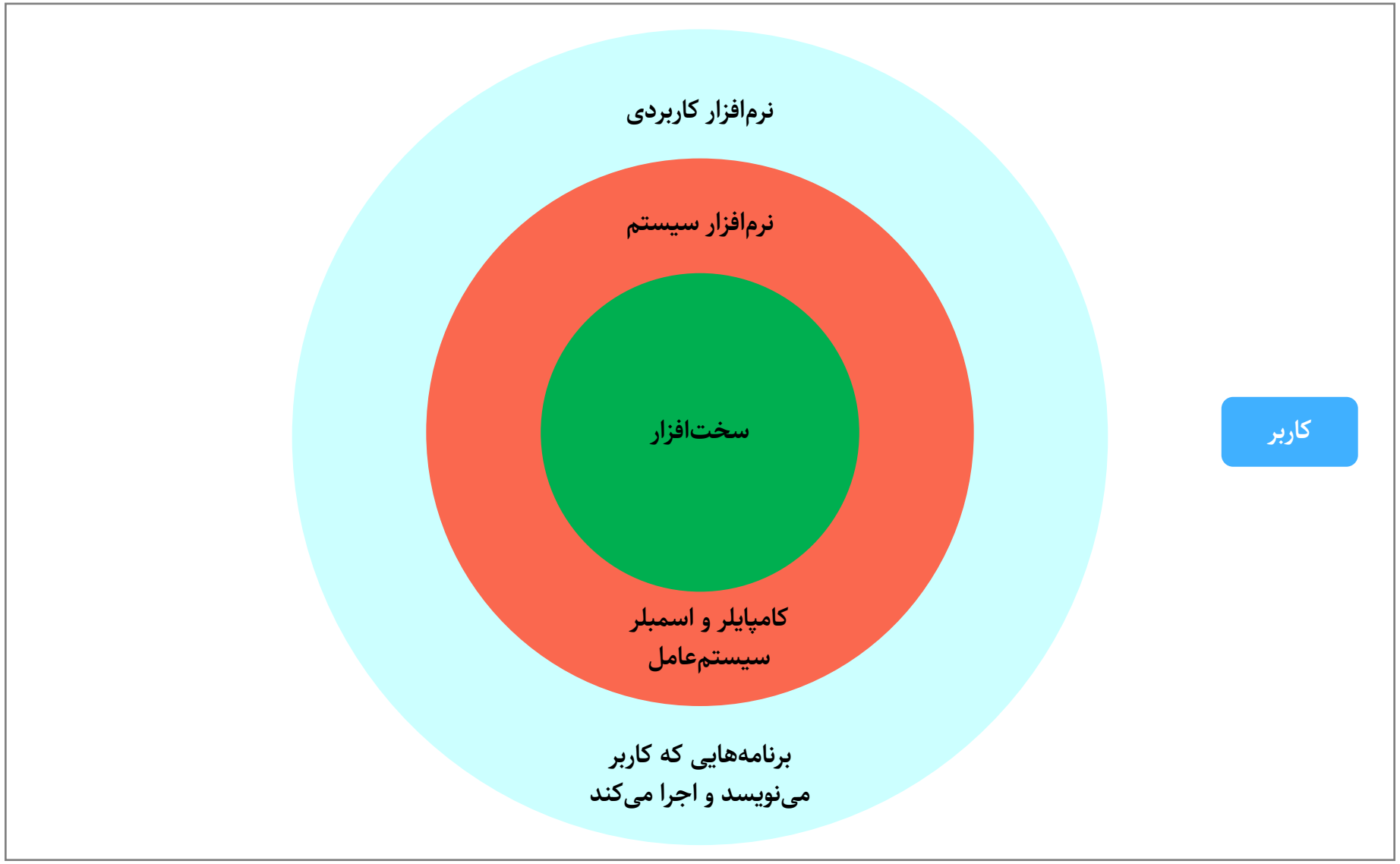
بخش فرستنده (Transmitter Pathمستقیم)

- در این بخش نیز فرآیند معکوس به صورت مستقیم انجام می‌شود.
- **DSP:** داده‌های دیجیتال را تولید یا آماده‌سازی می‌کند.
- **DAC (Digital to Analog Converter):** سیگنال‌های دیجیتال I و Q را به سیگنال‌های آنالوگ در فرکانس پایه تبدیل می‌کند.
- **Mixer (میکسر مستقیم):** سیگنال‌های آنالوگ فرکانس پایه را با سیگنال LO ترکیب می‌کند تا مستقیماً به فرکانس رادیویی (RF) تبدیل شوند.
- **PA(Power Amplifier):** سیگنال RF تولید شده را برای ارسال قدرتمند می‌کند.
- **Duplexer:** مسیر را به سمت آنتن هدایت می‌کند.

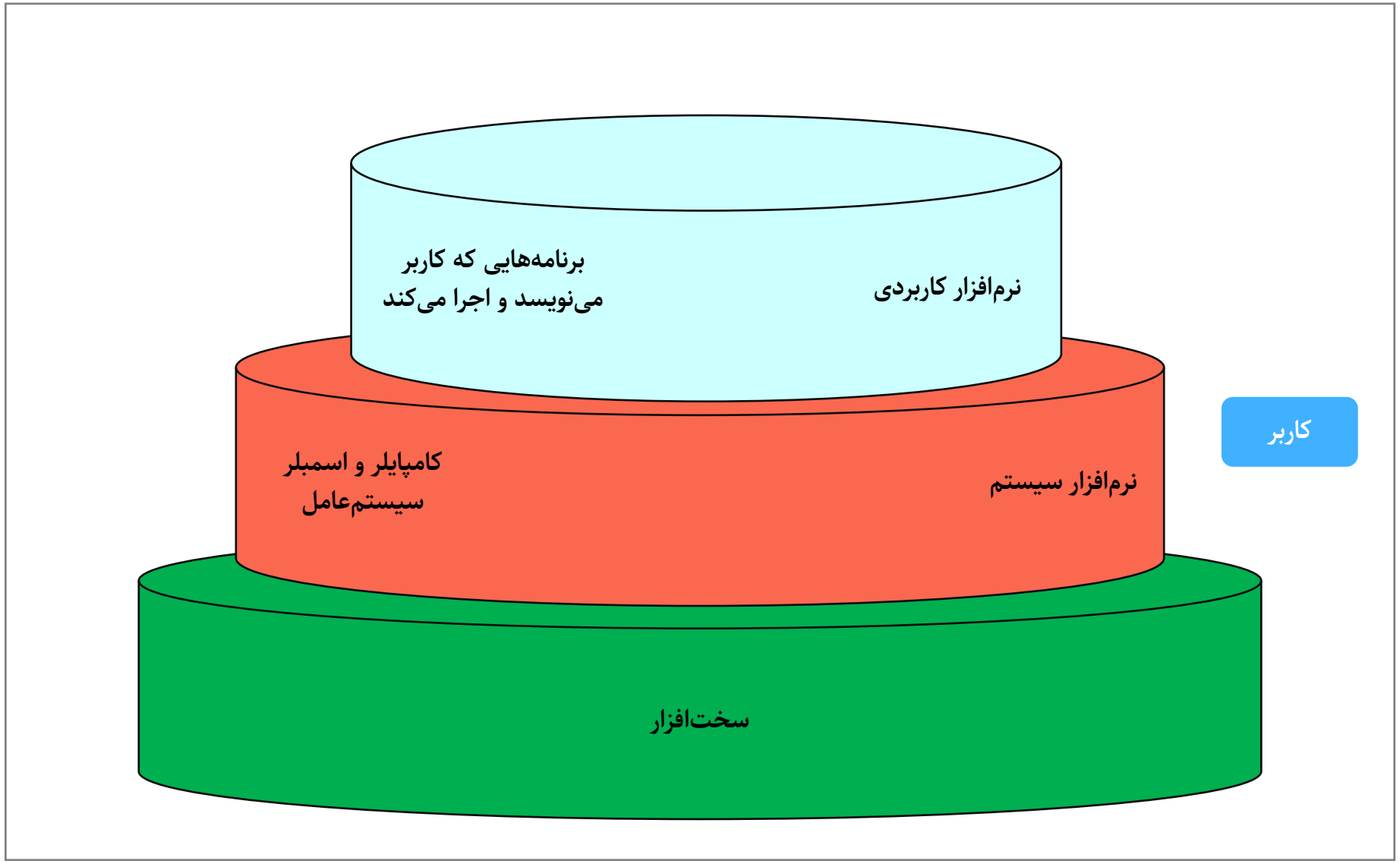
مقایسه Superheterodyne و Zero-IF / ZIF

ویژگی	Superheterodyne (سیستم اول)	Zero-IF / ZIF (سیستم دوم)
فرکانس میانی (IF)	دارد (سیگنال ابتدا به IF می‌رود)	ندارد (مستقیماً به فرکانس پایه می‌رود)
پیچیدگی سخت‌افزار	بیشتر (نیاز به فیلترهای IF دارد)	کمتر (اجزای آنالوگ کمتری نیاز دارد)
نقش DSP	پردازش داده‌های دیجیتال	پردازش داده‌ها + جبران کردن خطاها (مثل DC Offset)
کاربرد	رادارهای قدرتمند، ایستگاه‌های پایه مخابراتی	موبایل‌ها، بلوتوث، Wi-Fi (چون کوچک و ارزان است)

مفهوم کامپیوتر



مفهوم کامپیوتر



نرم‌افزار

کامپایلر

اسمبلر

نرم‌افزار کاربردی، برنامه‌ای به زبان C:

```
swap (int  v[ ], int  k)
{int  temp;
        temp = v[k];
        v[k] = v[k+1];
        v[k+1] = temp;
}
```

خروجی کامپایلر MIPS، برنامه زبان اسمبلی:

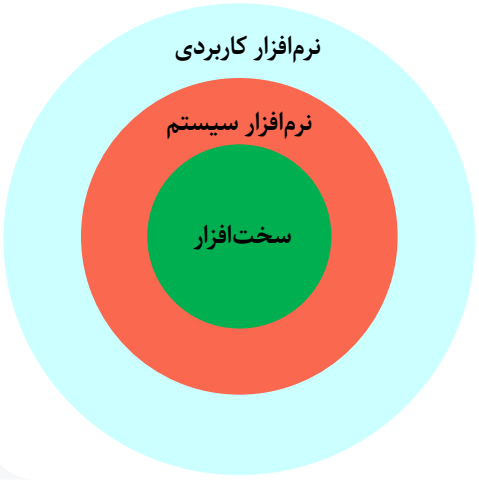
```
swap;
        muli    $2,     $5, 4
        add     $2,     $4, $2
        lw      $15,    0 ($2)
        lw      $16,    4 ($2)
        sw      $16,    0 ($2)
        sw      $15,    4 ($2)
        jr      $31
```

کد ماشین باینری MIPS:

```
00000000101000010000000000011000
00000000000011000000110000100001
10001100011000100000000000000000
10001100111100100000000000000100
10101100111100100000000000000000
10101100011000100000000000000100
00000011111000000000000000001000
```

کلمات ۳۲ بیتی ذخیره شده در حافظه

دستورالعمل‌های ماشین



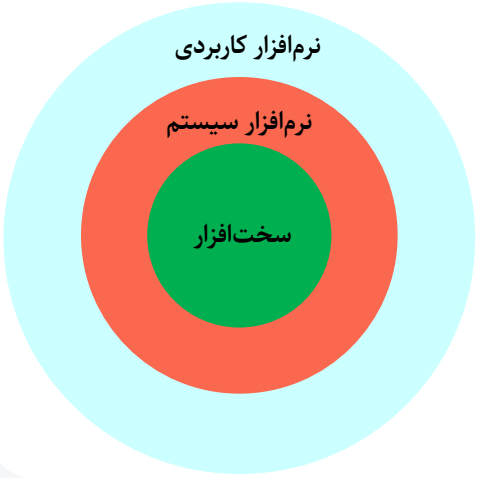
کد ماشین باینری



سخت‌افزار یک رایانه



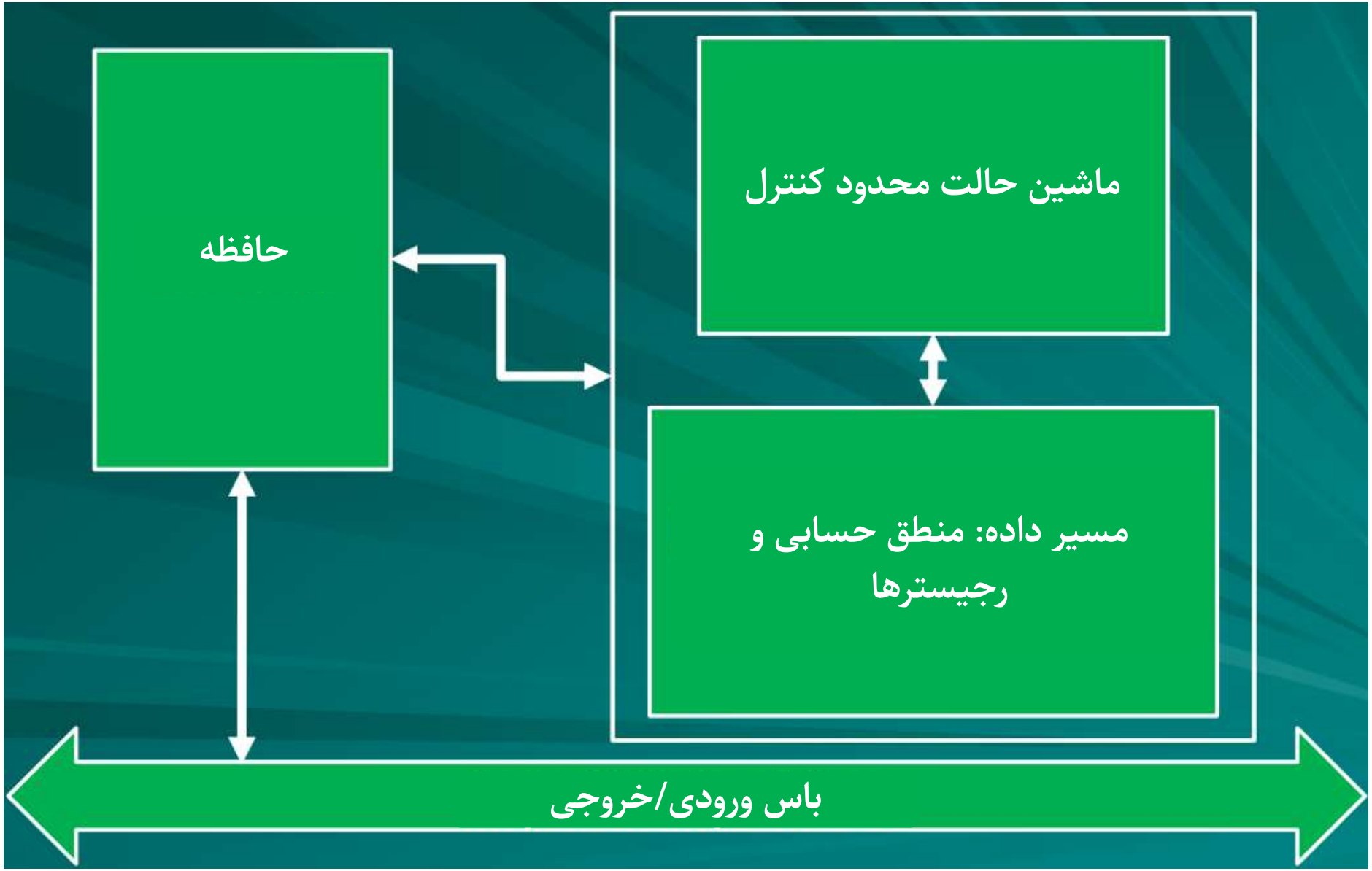
پنج قطعه



سخت‌افزار کد ماشین را پردازش می‌کند

- برنامه کاربر توسط کامپایلر و اسمبلر به کد ماشین باینری ترجمه می‌شود و در حافظه ذخیره می‌شود.
- واحد کنترل برنامه را از حافظه، یک کلمه در هر بار، می‌خواند (عملیات واکشی).
- واحد کنترل بیت‌های دستورالعمل کلمه برنامه را رمزگشایی می‌کند و منطق مسیر داده را پیکربندی می‌کند؛ این منطق داده‌ها را پردازش کرده و نتایج را در حافظه ذخیره می‌کند (عملیات رمزگشایی و اجرا).

سخت‌افزار دیجیتال کامپیوتر



برای کسب اطلاعات بیشتر

- J. Rogers، C. Plettو F. Dai، طراحی مدار مجتمع برای سنتز فرکانس با سرعت بالا، بوستون: Artech House، ۲۰۰۶.
- D. A. Pattersonو J. L. Hennessy، سازماندهی و طراحی کامپیوتر، رابط سخت‌افزار/نرم‌افزار، ویرایش چهارم، سانفرانسیسکو، کالیفرنیا: انتشارات مورگان کافمن (الزویر)، ۲۰۰۹.

تمرین‌ها

- فرکانس رادیویی (RF)، سیگنال ترکیبی (آنالوگ و دیجیتال) و اجزای دیجیتال را در یک سیستم ارتباطی شناسایی کنید.
- کدام بخش‌های سیستم‌های محاسباتی و ارتباطی حاوی مدارهای منطقی محاسباتی دیجیتال هستند؟
- کد ماشین باینری در یک رایانه دیجیتال در کجا ذخیره می‌شود؟
- تفاوت بین مدارهای ترتیبی و ترکیبی چیست؟ کنترل یک رایانه به کدام دسته تعلق دارد؟

پاسخ‌ها

- اجزای یک سیستم ارتباطی:
  - RF: آنتن، دوپلکسر، فیلتر، میکسر، نوسان‌ساز محلی.
  - سیگنال ترکیبی: ADC، DAC.
  - دیجیتال: DSP.
- منطق محاسباتی در DSP و مسیر داده وجود دارد.
- کد ماشین در حافظه ذخیره می‌شود.
- مدارهای ترتیبی و ترکیبی:
  - یک مدار ترتیبی حاوی حافظه است. خروجی آن توسط ورودی و محتوای حافظه تعیین می‌شود.
  - مدار ترکیبی فاقد حافظه است. خروجی آن کاملاً به ورودی بستگی دارد.
  - کنترل یک کامپیوتر یک مدار ترتیبی است.

سیستم های دیجیتال



مبحث بعدی

- حساب باینری

چرا محاسبات دودویی؟

