



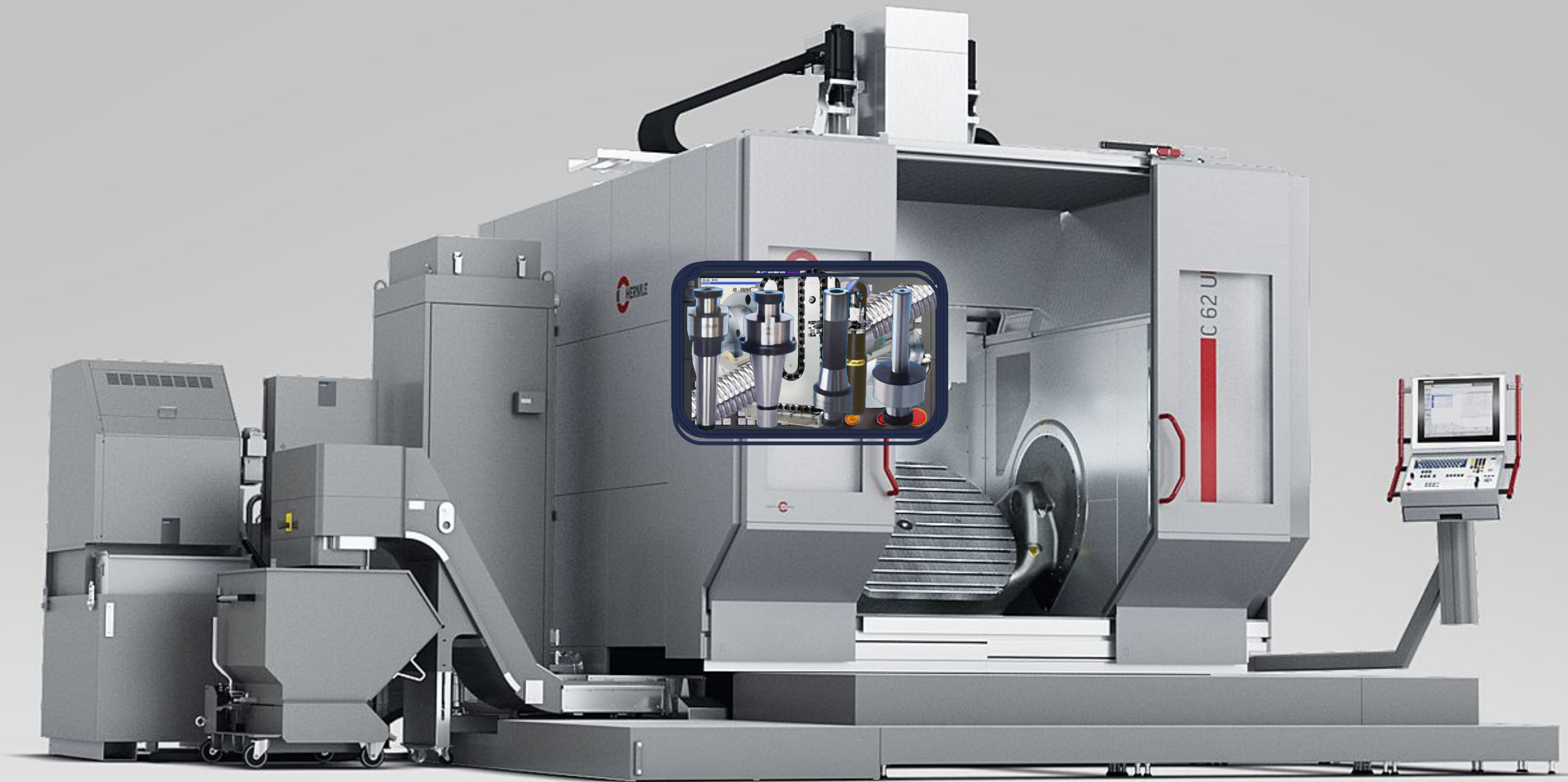
赛灵思工业物联网研讨会  
XILINX IIoT SEMINAR

# Zynq 数控平台

宋师

广州数控设备有限公司

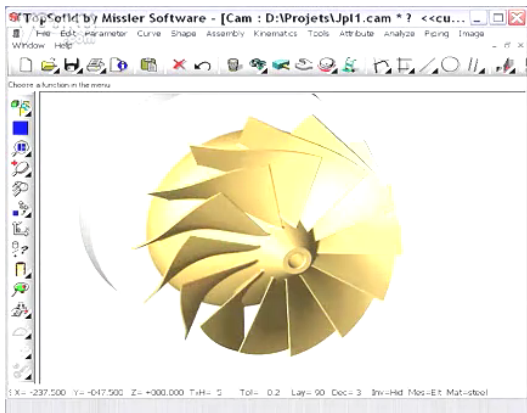
2019 / 5 / 16



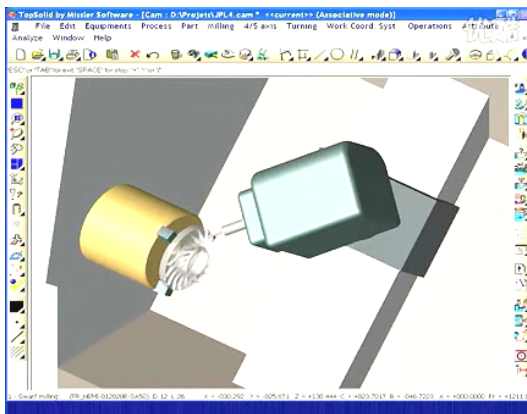
# 数控机床的输入输出

现代数控机床的工作流程 CAD -> CAM -> CNC

CAD: 你需要什么?



CAM: 怎么把它做出来?



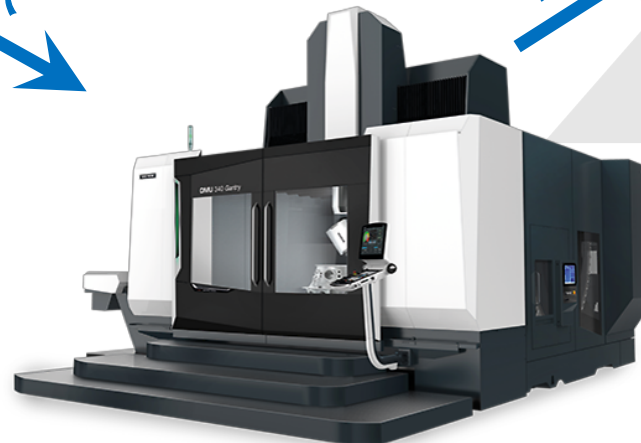
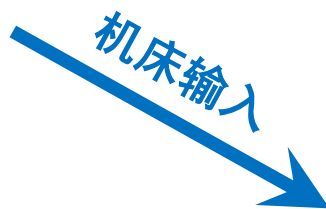
GCode: Follow me!

```
O0018 (O0018)
M3 S700
G50 X150 Z452
G0 X50
G99 G1 Z400 F0.2
X62 Z340
X68 Z325
Z310
X80
Z290
X90
Z270
X80 Z250
Z230
G2 X75.94 Z176.52 R90
G3 X74.87 Z161.76 R25
G2 X80 Z140 R25
G1 Z120
X100
Z95
X95 Z35
Z0
G0 X150 Z452
M30
```

CNC: 咱们来开工吧!



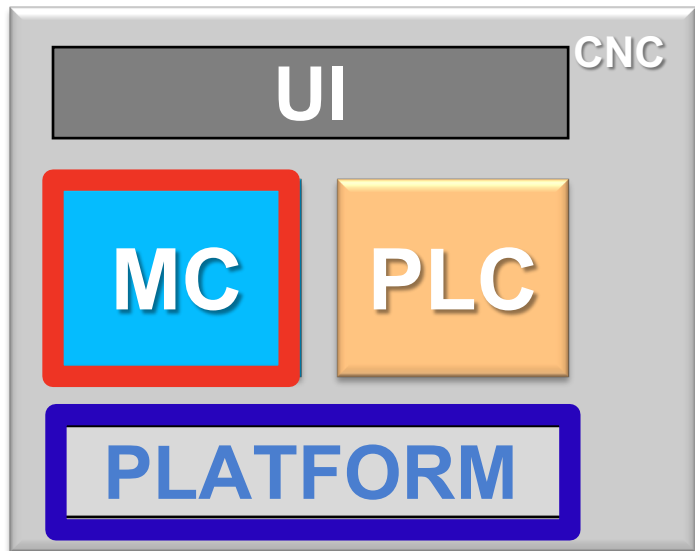
工件: 亲, 看看我值多少钱?



CAD



CAM



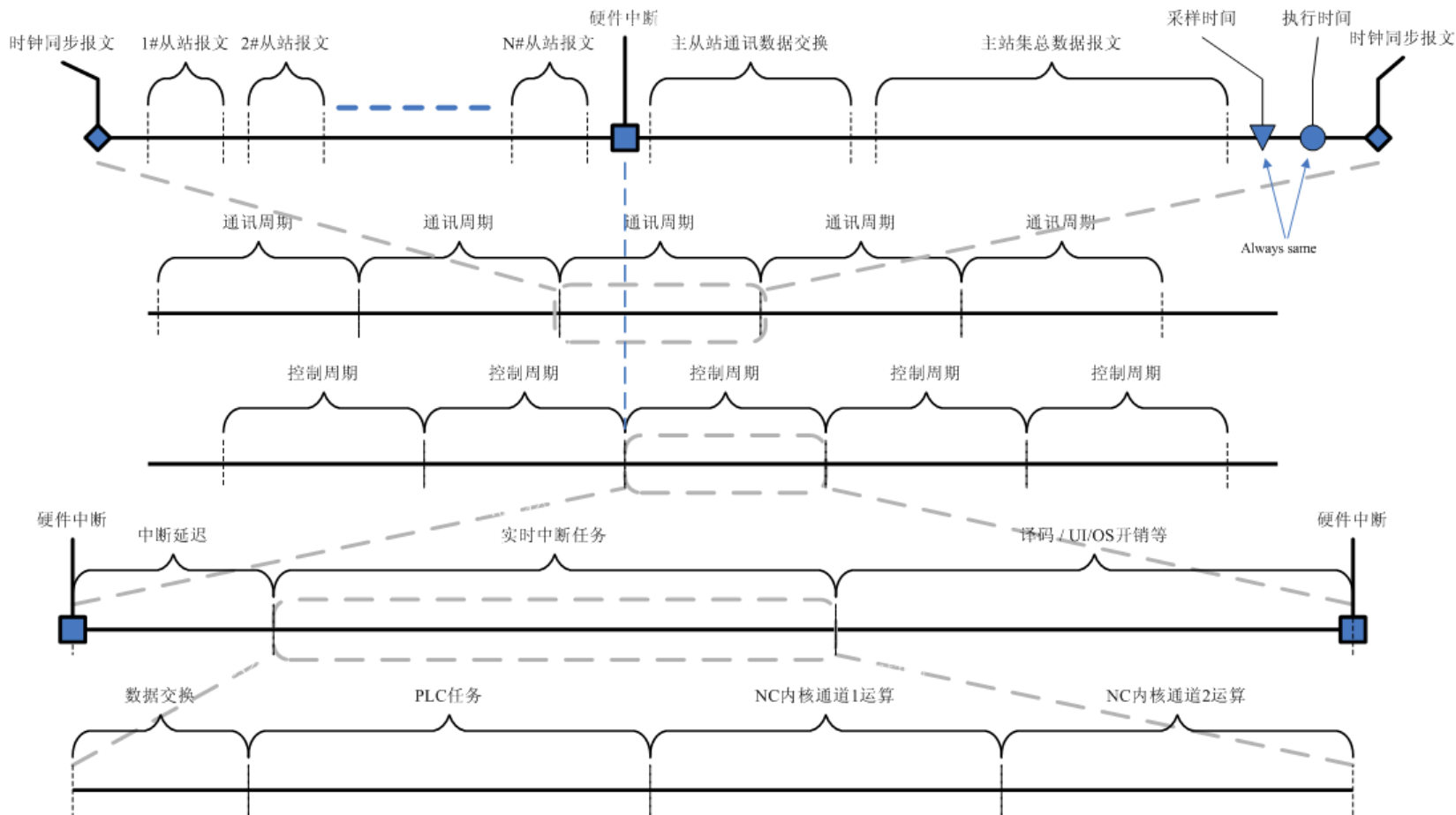
电机及机械

层次	任务	功能	实时性
轨迹规划	预处理/译码	G代码解析 / 自动模式 / MDI模式 / 子程序调用等	NRT
	运动学规划	轨迹/速度规划/复合循环/ 样条拟合/刀补/速度前看	
	队列	连接NC非实时模块与实时模块	--
	运行模式	手动 / 手轮 / 逆向插补等	100us ~ 1ms
	插补	直线 / 圆弧 / 螺旋线 / 样条 / 运动学解耦 / 加减速制	
	补偿	反向间隙 / 螺距误差 / 伺服漂移 / 几何误差 / 动力学等补偿	
	坐标变换	传动比计算 / 并联机床 / 旋转轴等	
运动执行	细插补 / 输出	模拟量 / 脉冲 / 现场总线 / 虚拟伺服 / 同步轴	50us
	位置环	伺服电机运行位置闭环控制	
	速度环	伺服电机运行速度闭环控制	
	电流环	伺服电机输出扭矩闭环控制	
	功率输出	产生电机运行所需要的三相电流	持续
	电机	执行运行	--

数控系统  
计算负荷

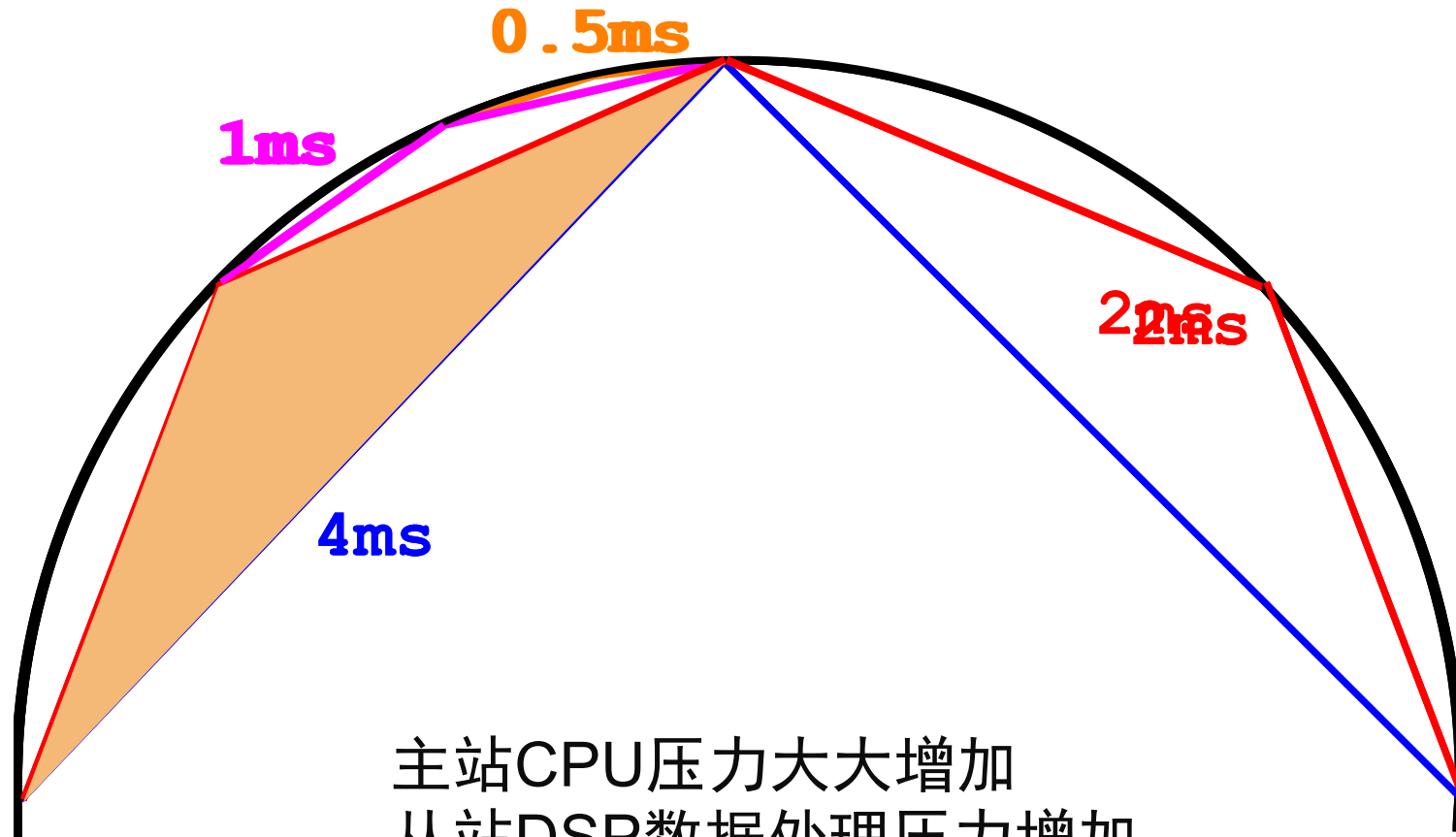


# 数控周期性工作节拍



# 减小控制周期，提高精度

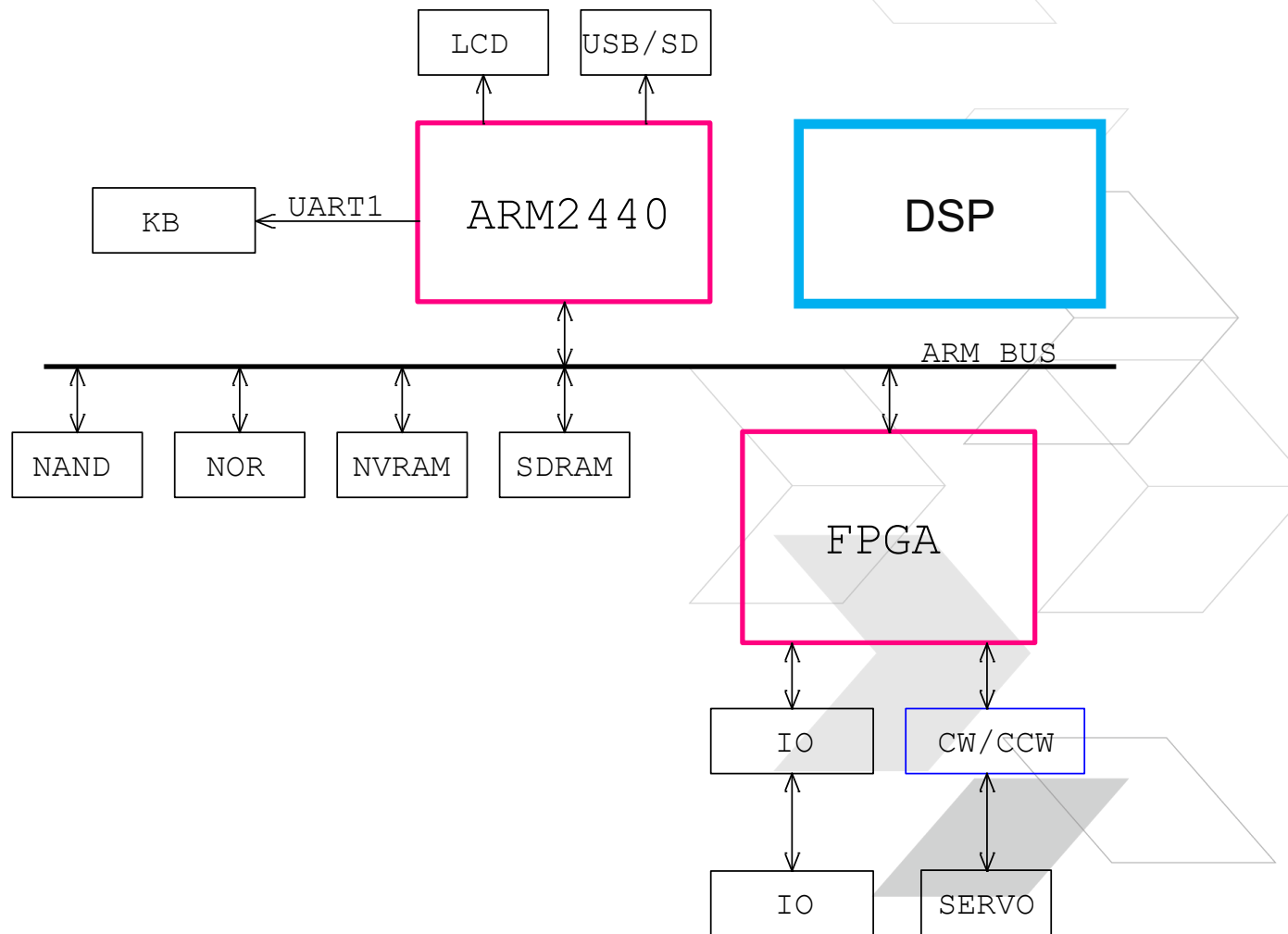
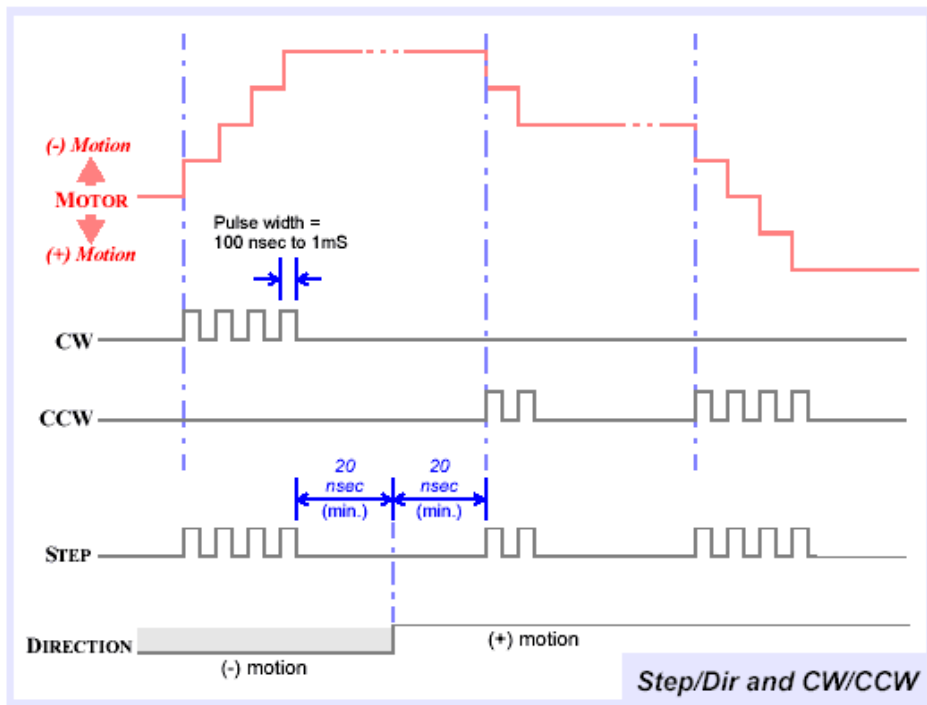
典型控制周期  
250us ~ 1ms



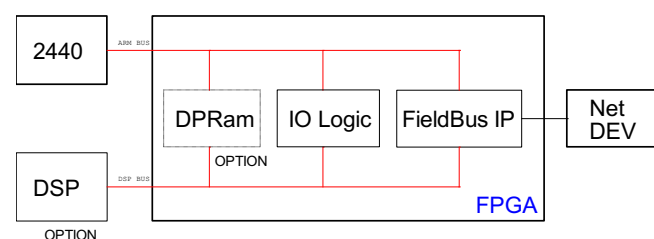
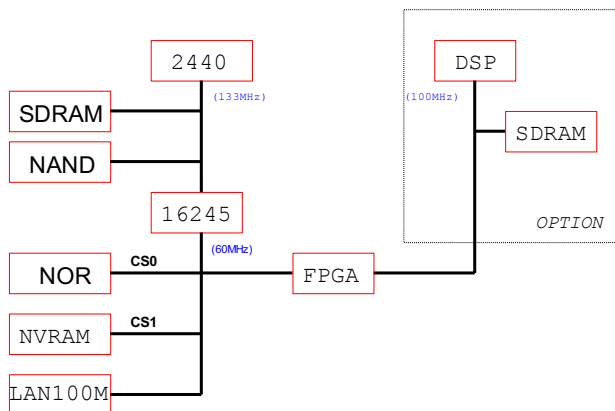
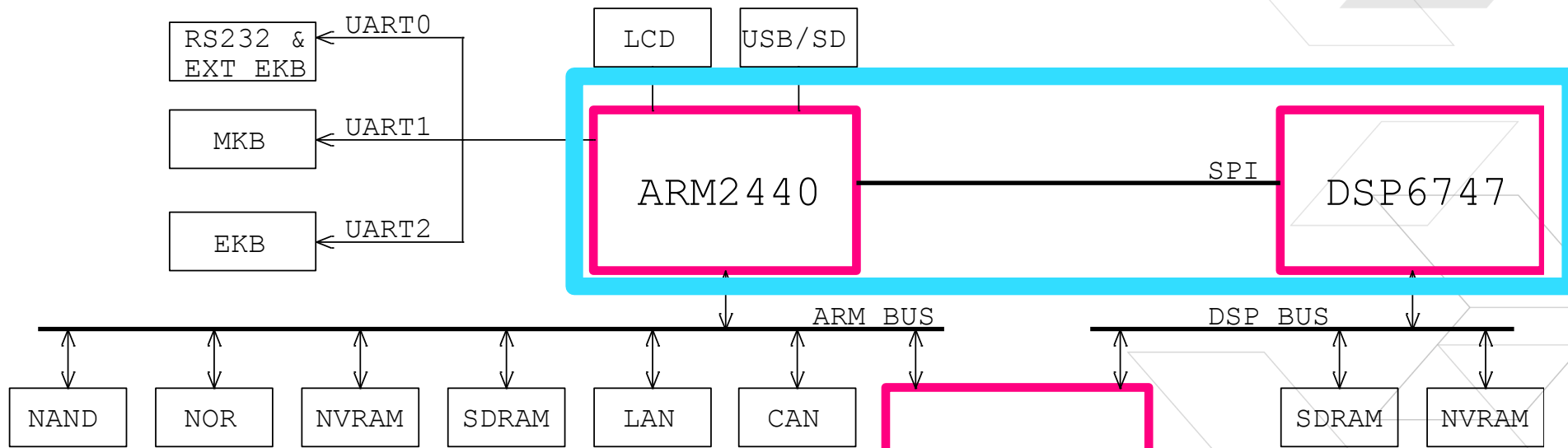
主站CPU压力大大增加  
从站DSP数据处理压力增加  
系统时序余量减小、可靠性下降  
LTI伺服可以做到125us

运动学  
动力学  
微分几何  
黎曼几何  
.....

# GSK CNC架构演化历史 (1)



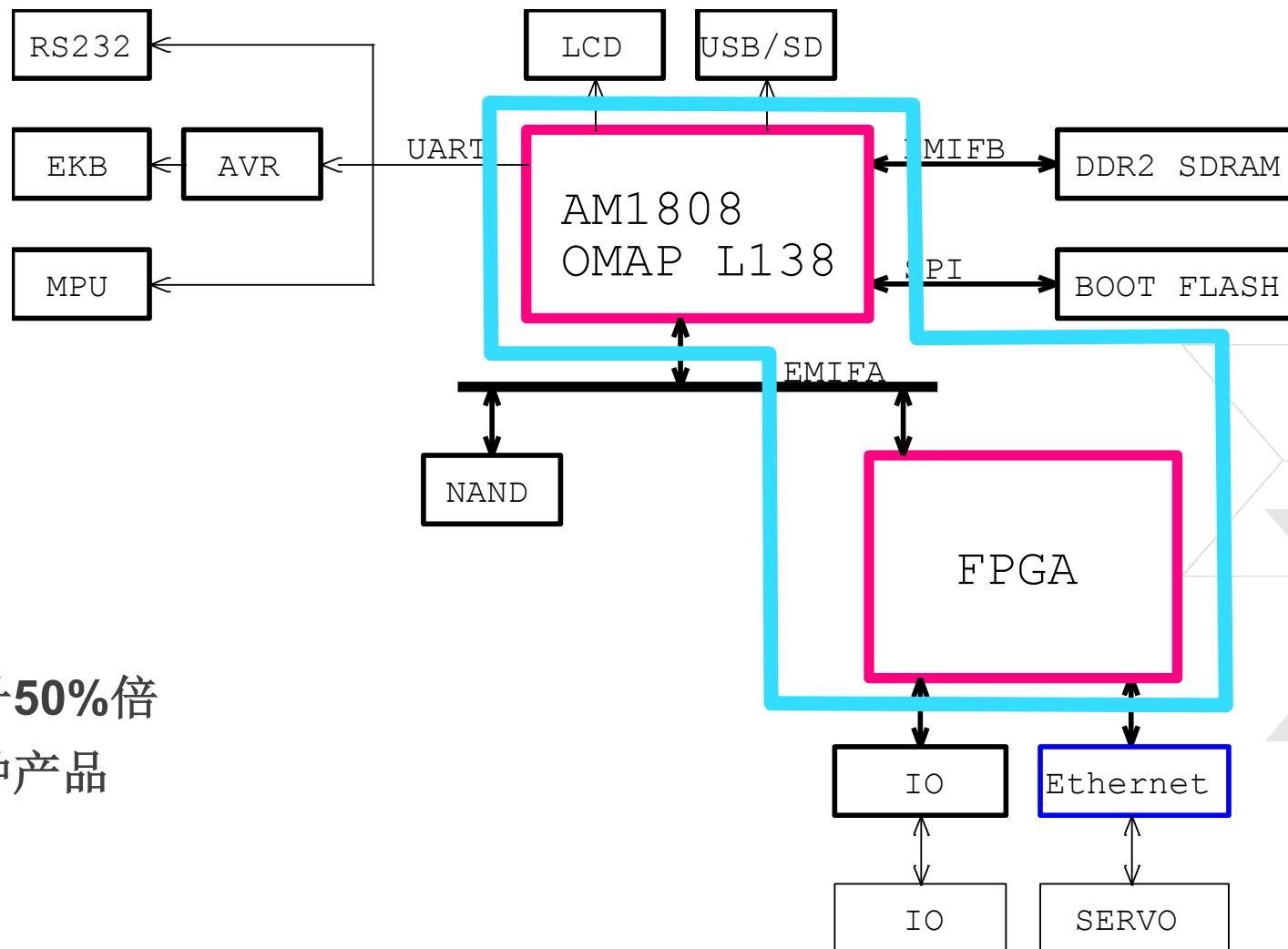
# GSK CNC架构演化历史 (2)



➤ 系统复杂度: 110+ IC

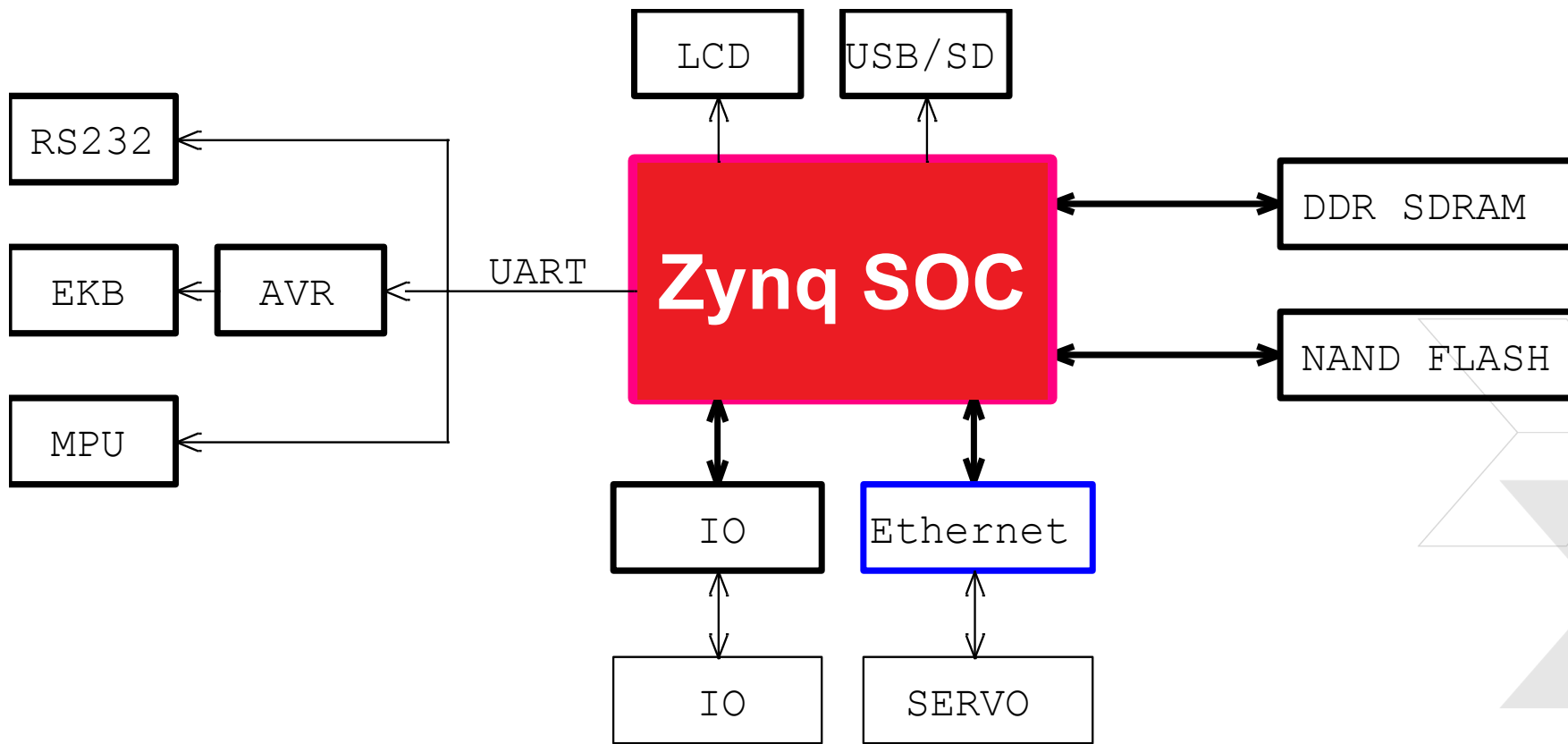


# GSK CNC架构演化历史 (3)



- 计算能力：提升**50%**倍
- 一种设计，两种产品

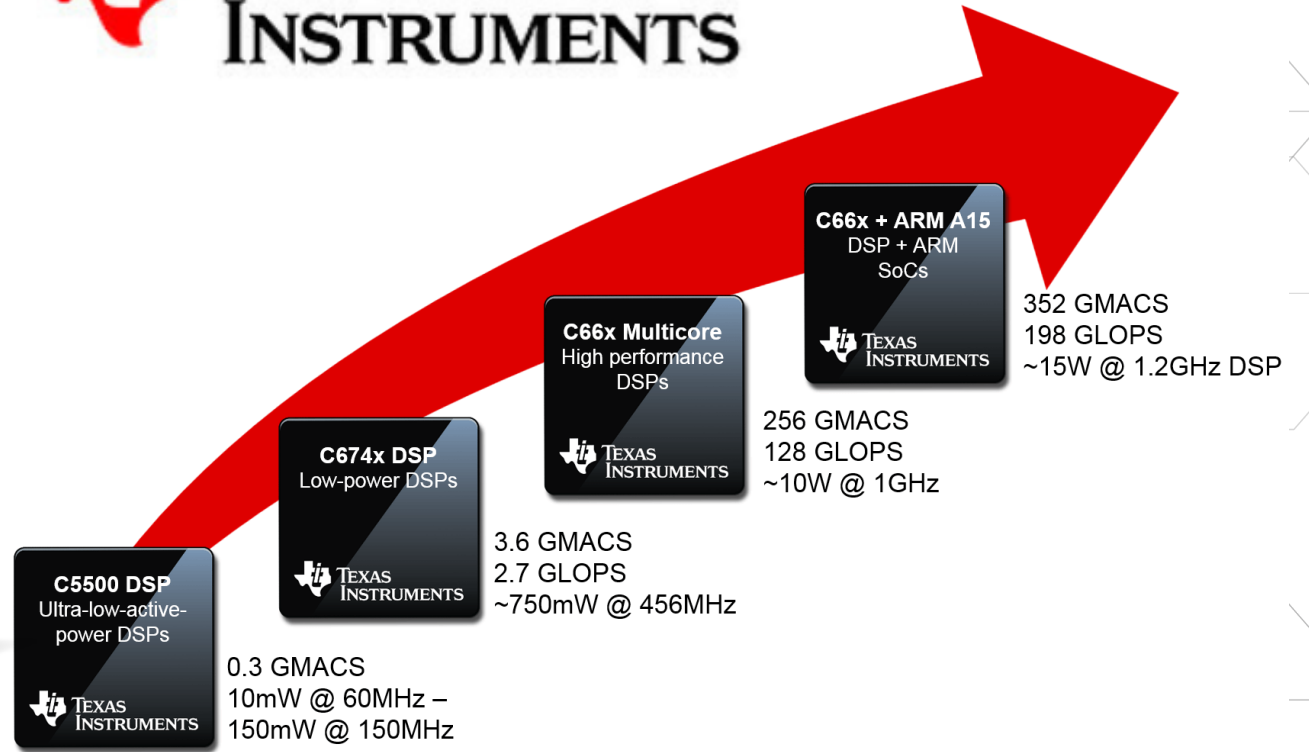
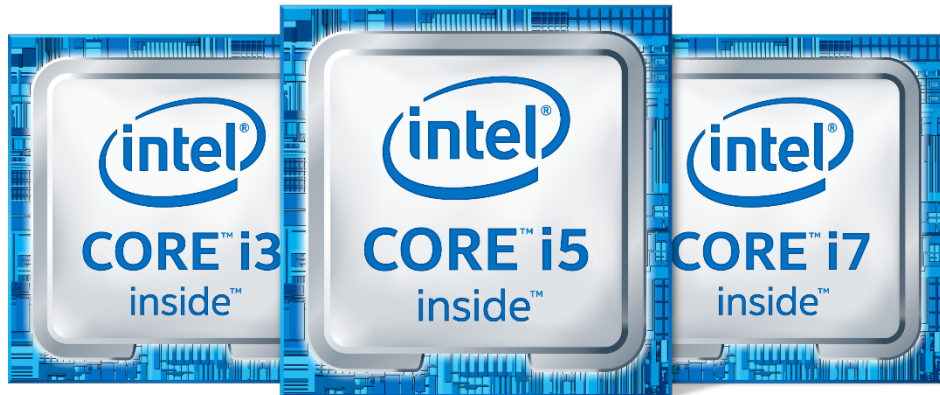
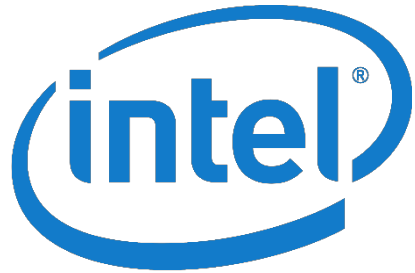
# GSK CNC架构演化历史（4）



➤ 系统复杂度：30多片IC

➤ 计算能力：TI OMAP L138平台的 **3-5倍**

# Zynq与X86、DSP以及其它嵌入式处理器的对比



# ARM 与 DSP 计算指令集性能对比

CPU		S3C2440 (405MHz)	AM3359 (400MHz)	C6747 (400MHz)
编译器		ADS 1.2	RVDS 4.0	CCS 3.3
I-cache		打开	打开	打开
D-cache		打开	打开	打开
运行		SDRAM	DDR2	DDR2
单精度 浮点	加	0.107	0.028	0.010
	减	0.108	0.028	0.010
	乘	0.101	0.028	0.010
	除	0.201	0.092	0.093
	Sin	7.578	2.156	0.406
	Cos	7.547	2.141	0.422
	Asin	8.438	2.172	0.859
	Acos	7.734	1.859	0.859
	Sqrt	1.344	0.422	0.313
	Pow	21.672	5.672	1.438
双精度 浮点	加	0.168	0.003	0.015
	减	0.160	0.003	0.015
	乘	0.256	0.003	0.023
	除	0.746	0.075	0.232
	Sin	7.500	2.078	0.406
	Cos	7.469	2.094	0.422
	Asin	8.438	2.172	0.844
	Acos	7.656	1.844	0.859
	Sqrt	1.047	0.391	0.297
	Pow	21.594	5.641	1.438

CPU		S3C2440 (405MHz)	AM3359 (400MHz)	C6747 (400MHz)
编译器		ADS 1.2	RVDS 4.0	CCS 3.3
I-cache		打开	打开	打开
D-cache		打开	打开	打开
运行		SDRAM	DDR2	DDR2
32位整形	加	0.005	0.005	0.003
	减	0.005	0.005	0.003
	乘	0.014	0.018	0.010
	除	0.074	0.069	0.073
	Sin	7.547	2.188	0.406
	Cos	7.500	2.188	0.422
	Asin			
	Acos			
	Sqrt	1.297	0.438	0.313
	Pow	21.500	5.703	1.438
64位整形	加	0.010	0.020	0.010
	减	0.010	0.020	0.010
	乘	0.044	0.053	0.023
	除	0.370	0.216	0.581
	Sin	7.609	2.313	0.641
	Cos	7.609	2.313	0.656
	Asin			
	Acos			
	Sqrt	1.531	0.594	0.594
	Pow	21.563	5.813	1.656

**浮点性能：Cortex A(ARMv7) VFP 与674x DSP相似，稍差；ARM7(ARMv4) 差一个数量级**



# 数学库实现浮点计算

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>

double sqrt_iterate(double x)
{
    double z = 1.0;
    int i;
    for i = 0; i < 10; i++ {
        z -= (z * z - x) / (2 * z);
        printf(“%d: %.15f\n”, i, z);
    }
    return z;
}

int main(void)
{
    printf( “math.sqrt(2.0): \n  %.15f\n” , sqrt(2.0));
    sqrt_iterate(2.0);
    return 0;
}
```

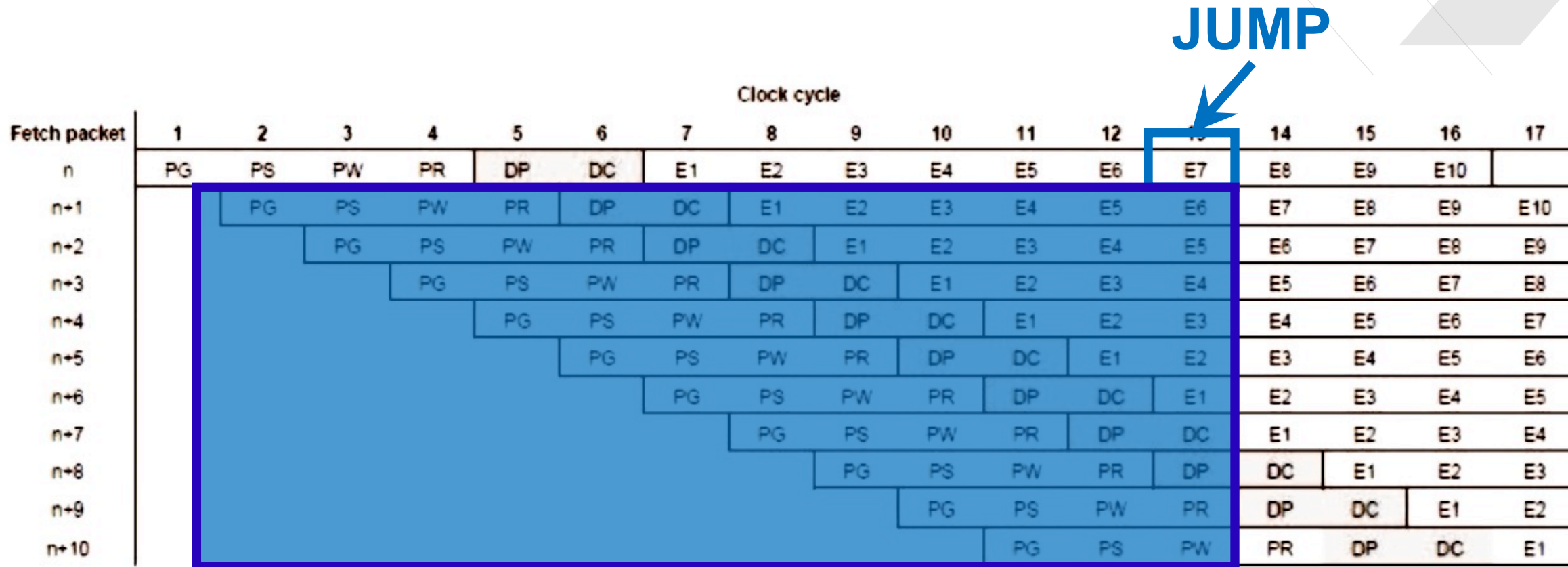
25次基本浮点计算

减法: 2次  
乘法: 2次  
除法: 1次

```
09:52:01 songs@dev.
$ gcc sqrt.c -o sqrt

09:53:03 songs@dev.
$ ./sqrt
math.sqrt(2.0):
1.414213562373095
0: 1.500000000000000
1: 1.416666666666667
2: 1.414215686274510
3: 1.414213562374690
4: 1.414213562373095
5: 1.414213562373095
6: 1.414213562373095
7: 1.414213562373095
8: 1.414213562373095
9: 1.414213562373095
```

# DSP的指令集劣势



浪费

劣势：分支指令（PLC、Control）

# DSP指令集优势

# MACx (FFT、WT ...)

处理器内核	C66x DSP 内核		C674x DSP 内核		Arm® Cortex®-A15	
使用的硬件平台	<a href="#">C6657 EVM</a>		<a href="#">C6748 LCDK</a>		<a href="#">AM5728 EVM</a>	
采用经基准测试的内核的器件	<a href="#">C66x DSP</a> <a href="#">66AK2x DSP</a> <a href="#">Sitara AM57x SoC</a>		OMAP-L138 C6748		66AK2x DSP Sitara AM57x SoC	
经基准测试的功能	C66x 执行时间		C674x 执行时间		ARM Cortex-A15 执行时间 <sup>2</sup>	
	C66x 周期	C66x $\mu$ S (1GHz)	C674x 周期	C674x $\mu$ S (456MHz)	Cortex-A15 周期	Cortex-A15 $\mu$ S (1GHz <sup>2</sup> )
复数 FFT (256 分) - SP 浮点1	1782	1.78	2401	5.27	8644	8.64
复数 FFT (1k 分) - SP 浮点1	6269	6.27	10950	24.01	43916	43.92
实数块 FIR - 定点 128 个样本, 16 个系数	262	0.26	386	0.85	2152	2.15
实数块 FIR - SP 浮点 128 个样本, 16 个系数	1345	1.35	1406	3.71	1371	6.97
实数块 FIR - SP 浮点 256 个样本, 16 个系数	2625	2.63	2735	7.53	2711	13.88
复数块 FIR - SP 浮点 64 个样本, 16 个系数	1334	1.33	2221	6.15	3039	13.04
复数块 FIR - SP 浮点 128 个样本, 16 个系数	2646	2.65	4397	12.29	26072	26.07
实矩阵 SGEMM 16x16	2405	2.41	3505	9.69	14662	14.66
复矩阵 SGEMM 16x16	4113	4.11	10884	23.87	26388	26.39

**DSP 10倍  
性能优势**

# Zynq VS DSP

- > 根据计算负荷及计算单元指令集特点选择技术方案
- > DSP不是数控平台的最佳选择
- > DSP合适“按数字公式不停算”的计算任务
- > ARM合适“如果怎么怎么样，就怎么怎么样”的计算任务
- > DSP市场竞争不充分，成本相对高



# Zynq 与嵌入式处理器的对比

> AM4xxx / 5xxx / 6xxx

> TI TMS320DM8168

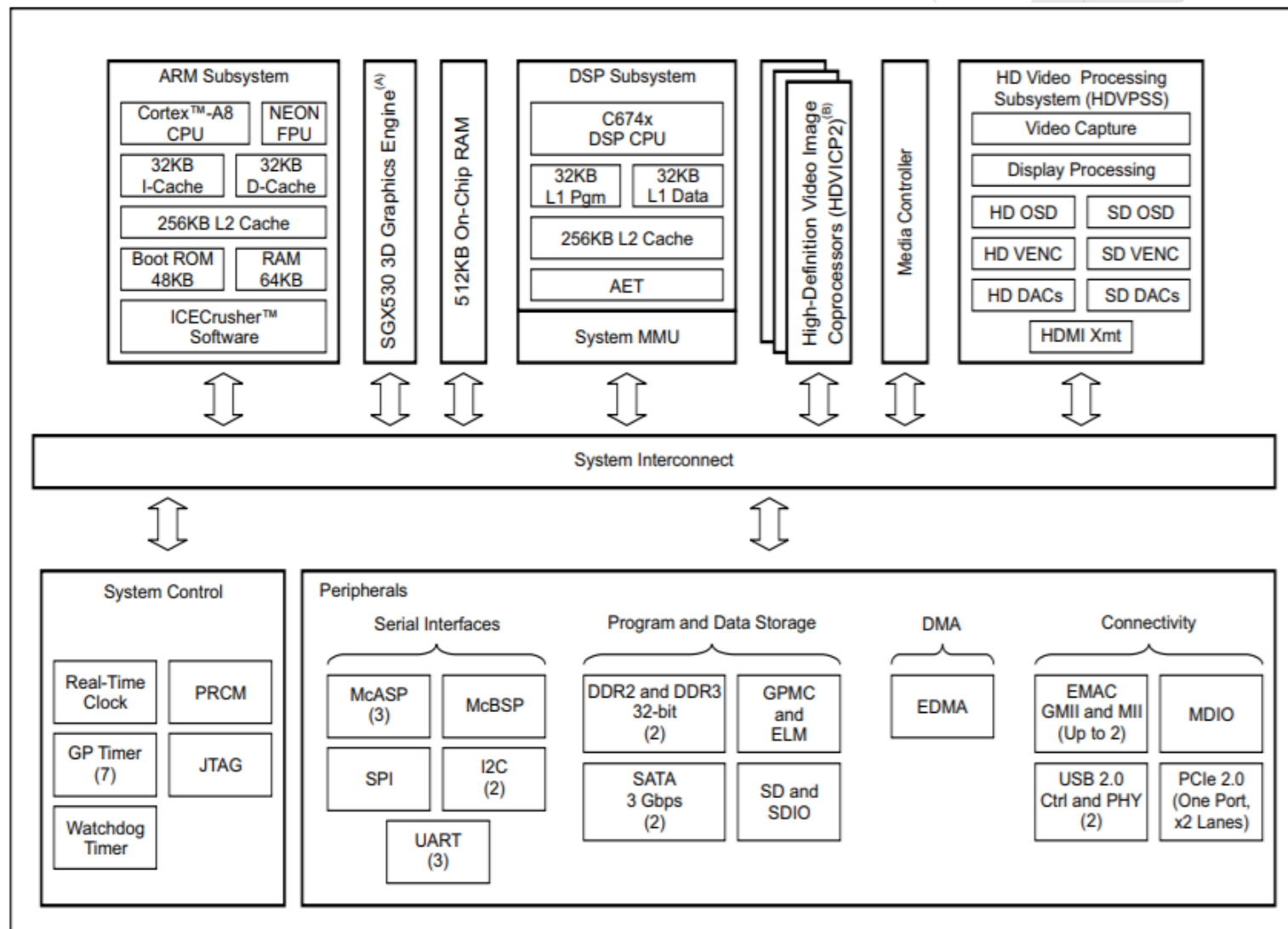
>> OMAP L139

>> TMS320C6A8168

>> ...

> 价格: \$75 ~ \$100

> 封装: BGA1031



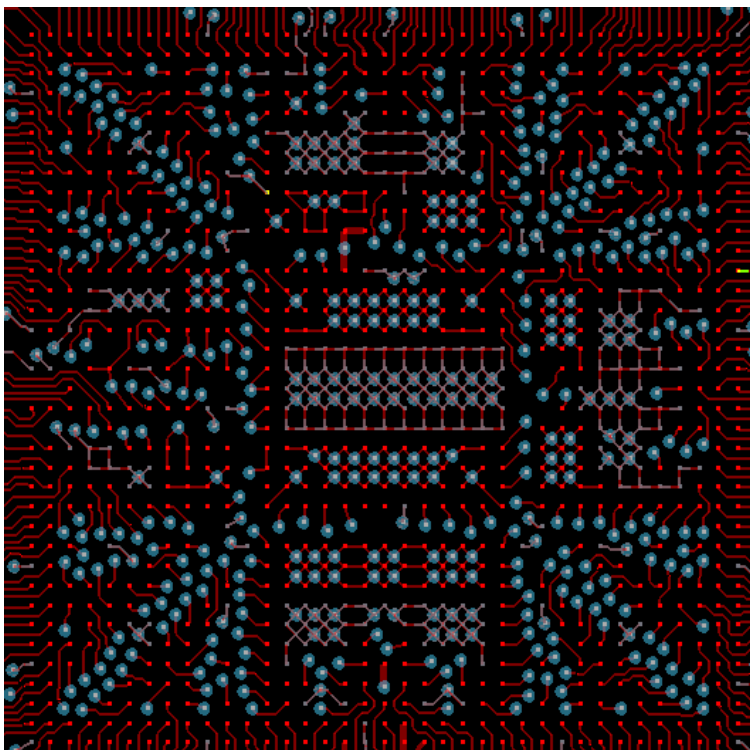
# 芯片管脚对比

## 加分

- 模拟PHY

## 减分

- PIN数多
- IO复用高
- Pitch小



TI TMS320DM8168  
1031 PINs

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
A	502	502		502	500	500	500		501	501	501	501	501	501	501	501	501	501	501	35	A	
B		502	502	502	500		500	500	501	501		501	501	501	501		501	501	35	35	B	
C	502	502	502		500	500	500	500		501	501	501	501		501	501	501	501		35	C	
D	502		502	502	500	500		500	500	501	501		501	501	501	501		35	35	35	D	
E	502	502	502	502		500	500	500	500		501	501	501	501		501	35	35	35		E	
F	502	502		502	502								501	501	501	501	35	35		35	35	F
G		502	502	502	502										35	35		35	35	35	35	G
H	502	502	502		502	502									35	35	35	35		35		H
J	502		502	502	502										35	35	35		35	35	35	J
K	502	502	502	502											35		35	35	35	35		K
L	502	502		502	502										35	35	35	35		35	35	L
M		502	502	502	502										35	35		35	35	35	35	M
N	502	502	502		502										35	35	34	34		34		N
P	502		502	502	502	502									34	34	34		34	34	34	P
R	502	502	502	502											34		34	34	34	34		R
T	502	502		502						34	34	34		34	34	34	34		34	34		T
U		502	502	502									34	34	34	34		34	34	34	34	U
V	502	502	502										34	34		34	34	34	34		34	V
W	502		502	502	502								34	34	34	34		34	34	34		W
Y	502	502	502	502										34		34	34	34	34		34	Y

Zynq 7000  
400 PINs

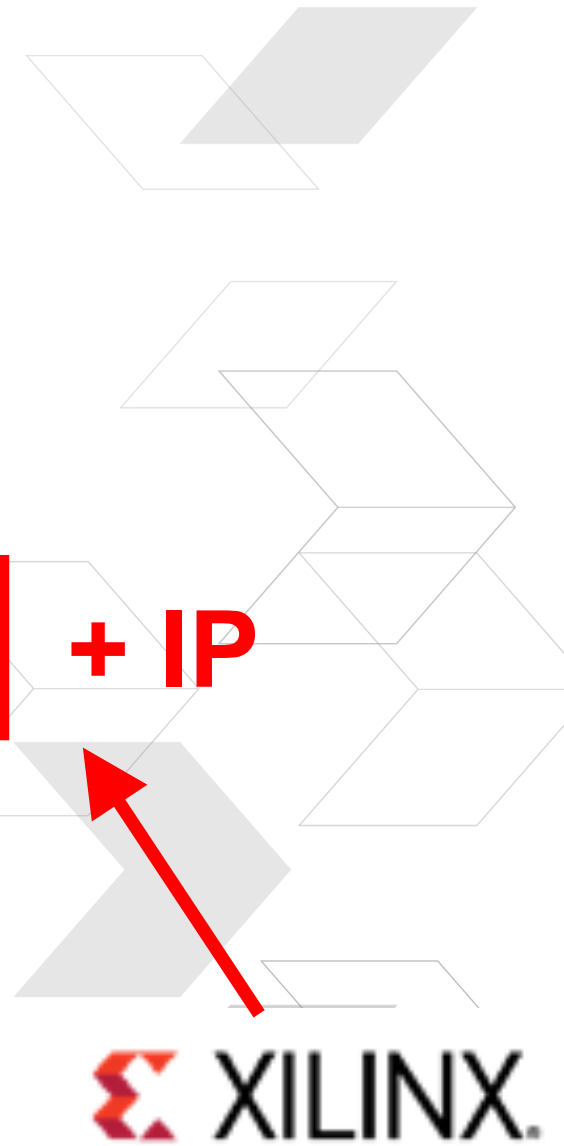
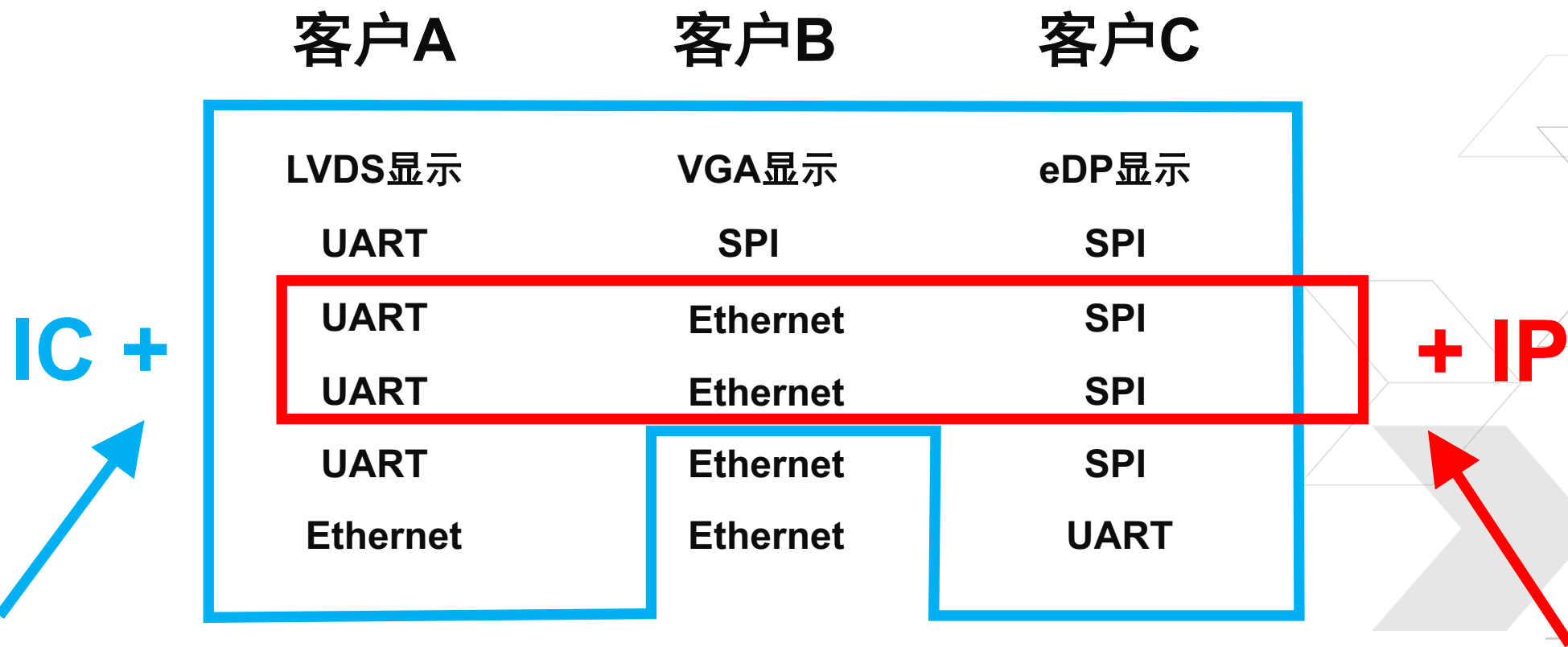
## 加分

- 封装多样
- EMIO扩展
- IO电平标准
- LVDS

## 减分

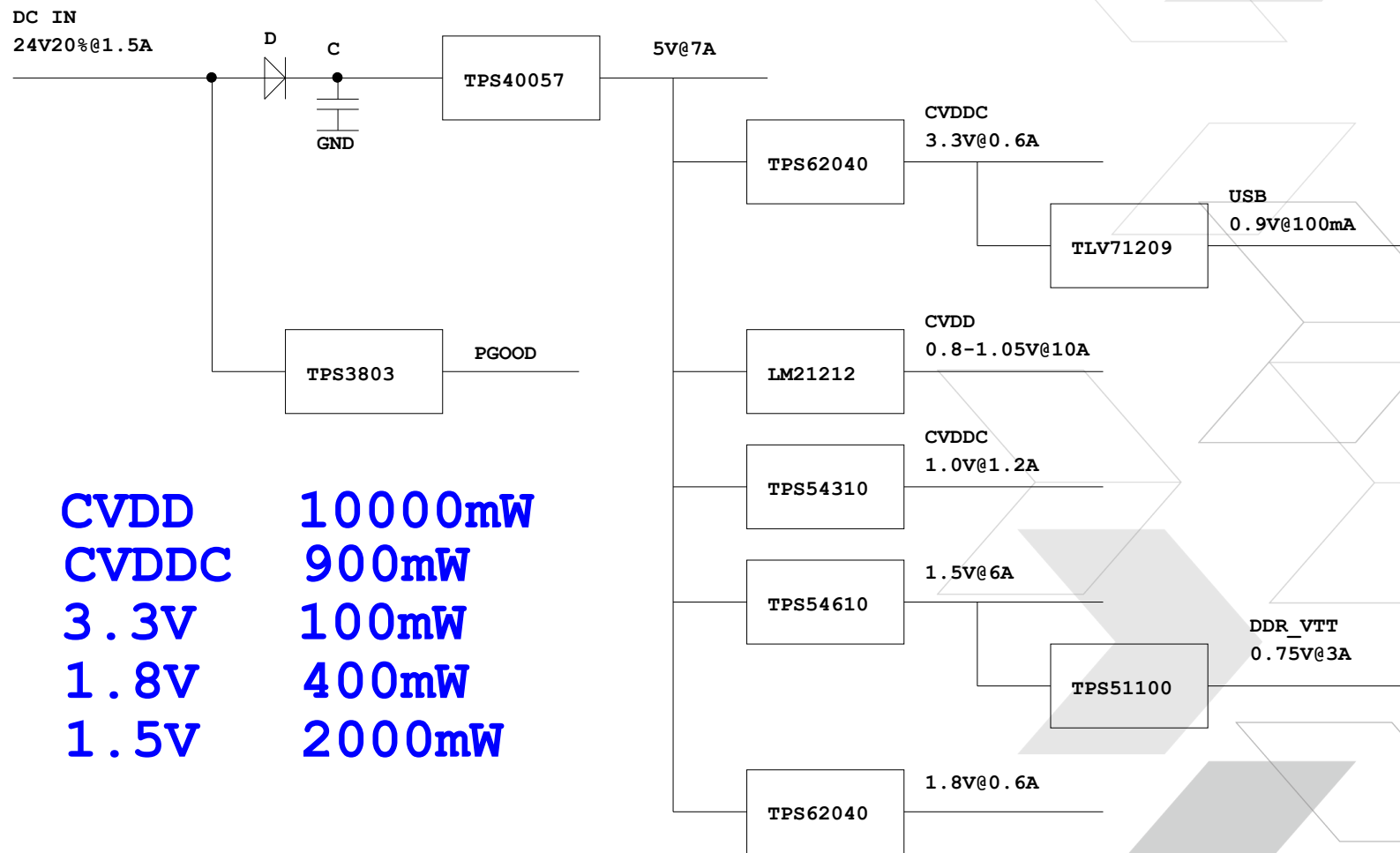
- USB PHY

# 接口需求 + 技术路线 = 芯片复杂度



# 电源方案对比

## TMS320C6A8168

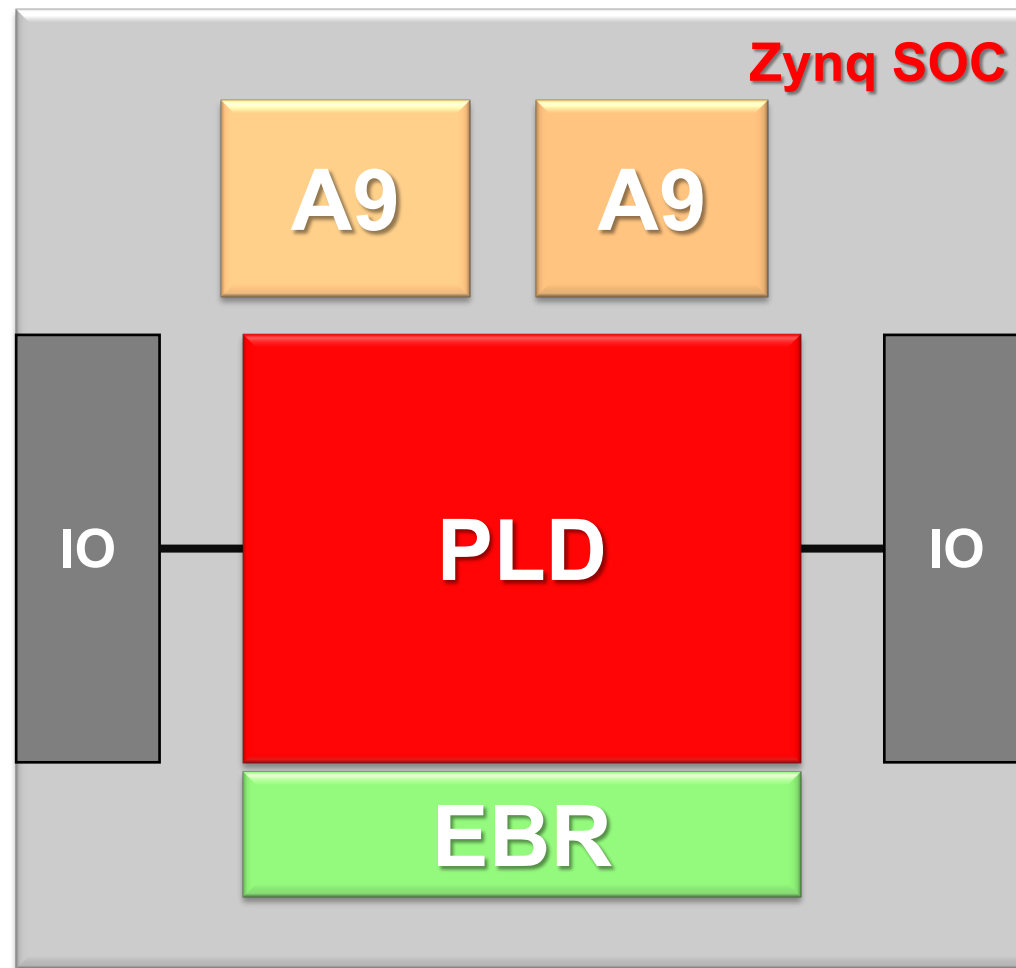
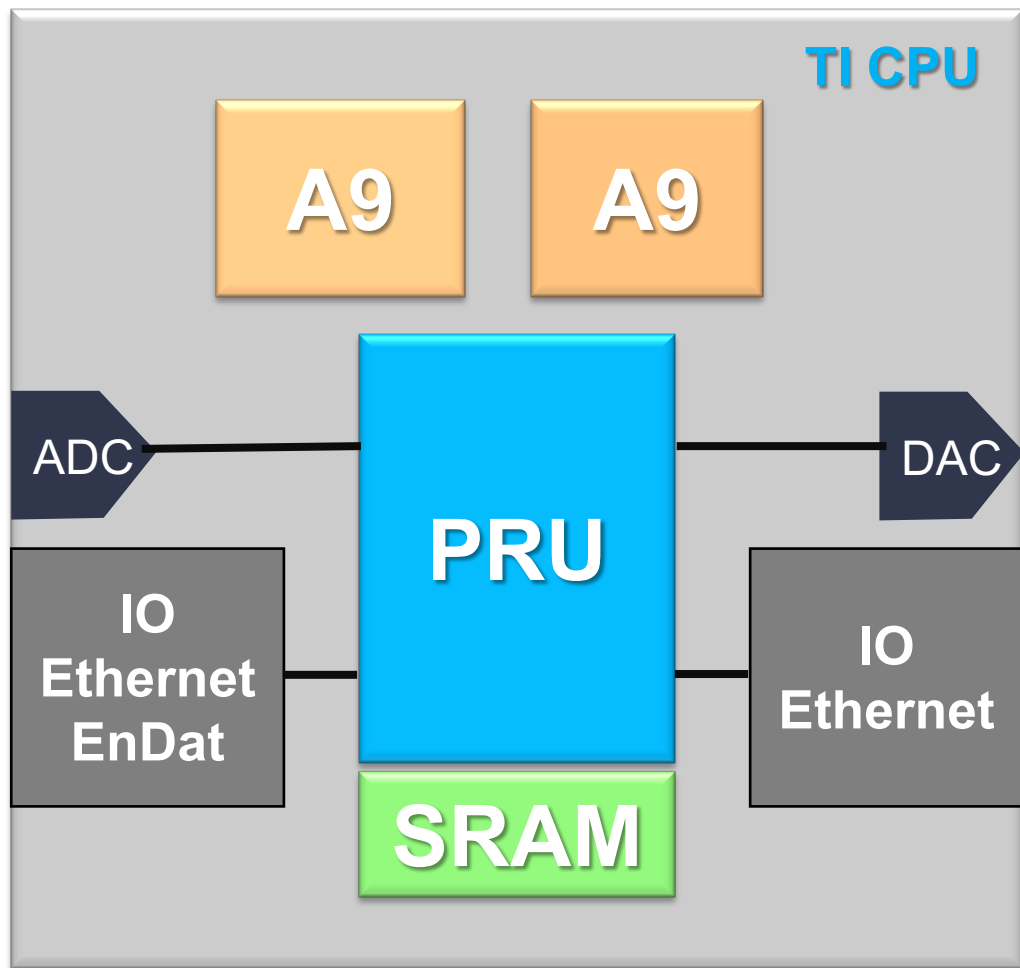


## Zynq

- +1.0V
- +1.8V
- +3.3V

CVDD	10000mW
CVDDC	900mW
3.3V	100mW
1.8V	400mW
1.5V	2000mW

# PRU vs PLD



# TMS320DM8168 vs Zynq7000

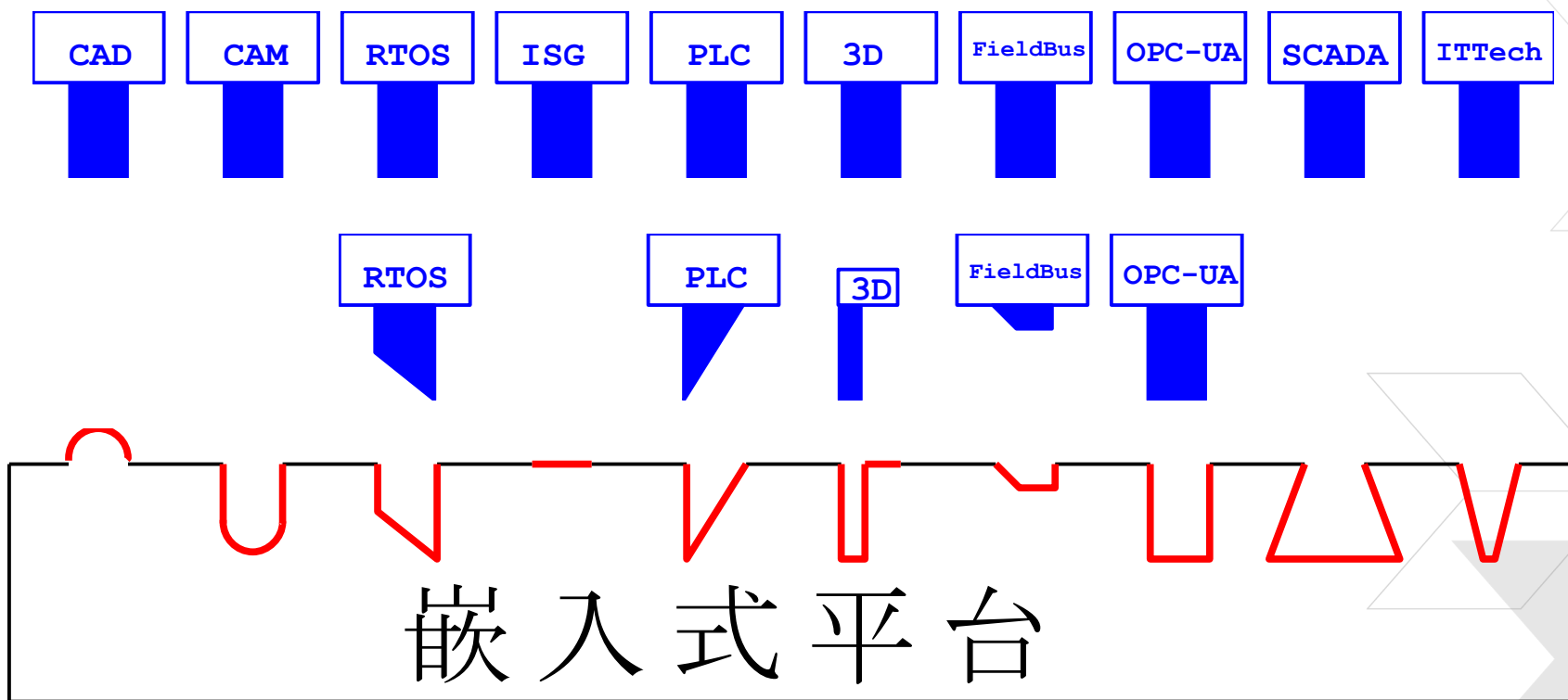
项目	TI TMS320C6A8168	Xilinx XC7Z010CLG400
核心	1.2-1.5G Cortex A8 + 674x DSP + PRU	Dual 800MHz Cortex A9 + 25KLe FPGA
计算能力	高(主频高), 满足CNC需求	低, 满足CNC需求
总线带宽	64bit双通道, 高主频	32bit, 低主频, 40bit ECC, FPGA扩展
柔性	PRU客户认知差	FPGA应用成熟, IP丰富, 生态系统健全
封装	0.65mm BGA1031	0.8mm CLG400
功耗	高, 电源设计复杂	低功耗, 电源设计简单
IO扩展	接口种类多、复杂、不可定制	接口种类少、可硬件定制扩展、灵活
高速模拟接口	优	差(受限于工艺及技术成熟度)
设计难度	高(电路/PCB/ PCBA /TI风格外设/PRU)	高(软硬件结合设计 / 全新外设)
系列选择	少, 差异小, 封装不兼容, 要重新设计	多, 主频, 内核数可选, 封装兼容
成本	高	低

# Zynq与X86平台的对比

NC任务	SIEMENS	FANUC	Beckhoff
预处理/译码	PC + Windows	PC + Windows	PC + Windows + TWinCAT 纯软件架构
运动学规划			
队列	PCI / ISA	板内连接	
运行模式	运动控制卡	ASIC	
插补			
补偿			
坐标变换			
细插补/输出	Drive-CLiQ总线	FSSB输出 PWM数据	EtherCAT
位置环	SIEMENS Servo	纳米伺服	数千种EtherCAT接口的驱动及其控制的电机
速度环			
电流环			
功率输出			
电机	直线电机 / 电主轴	直线电机 / 电主轴	

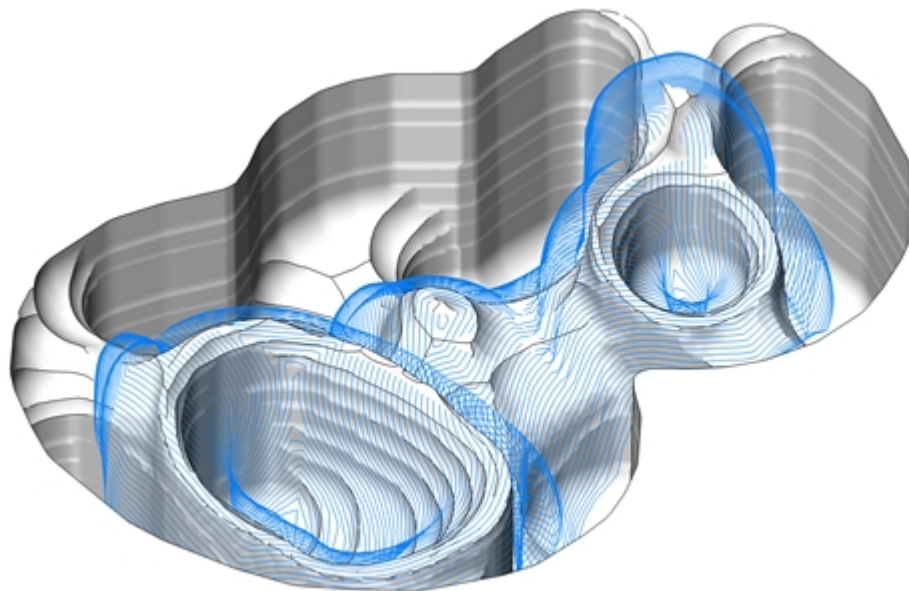
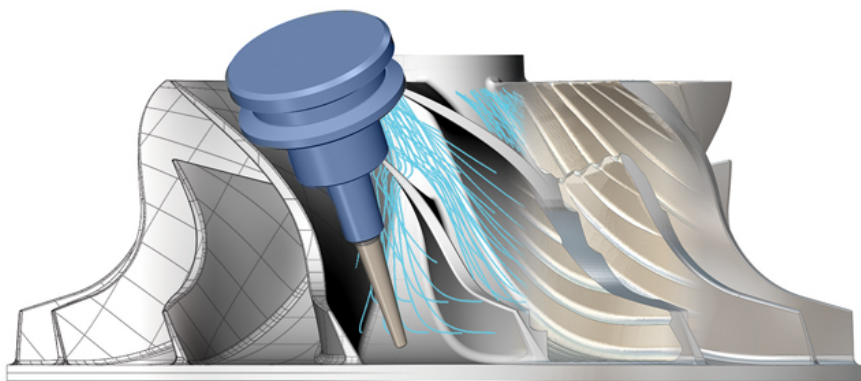
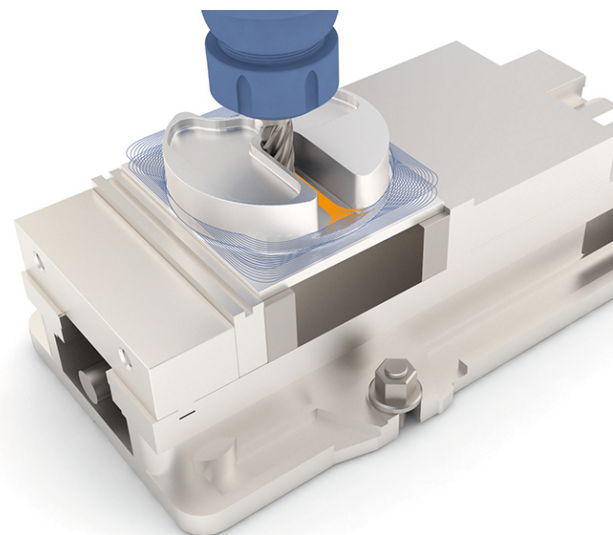


# 嵌入式生态系统



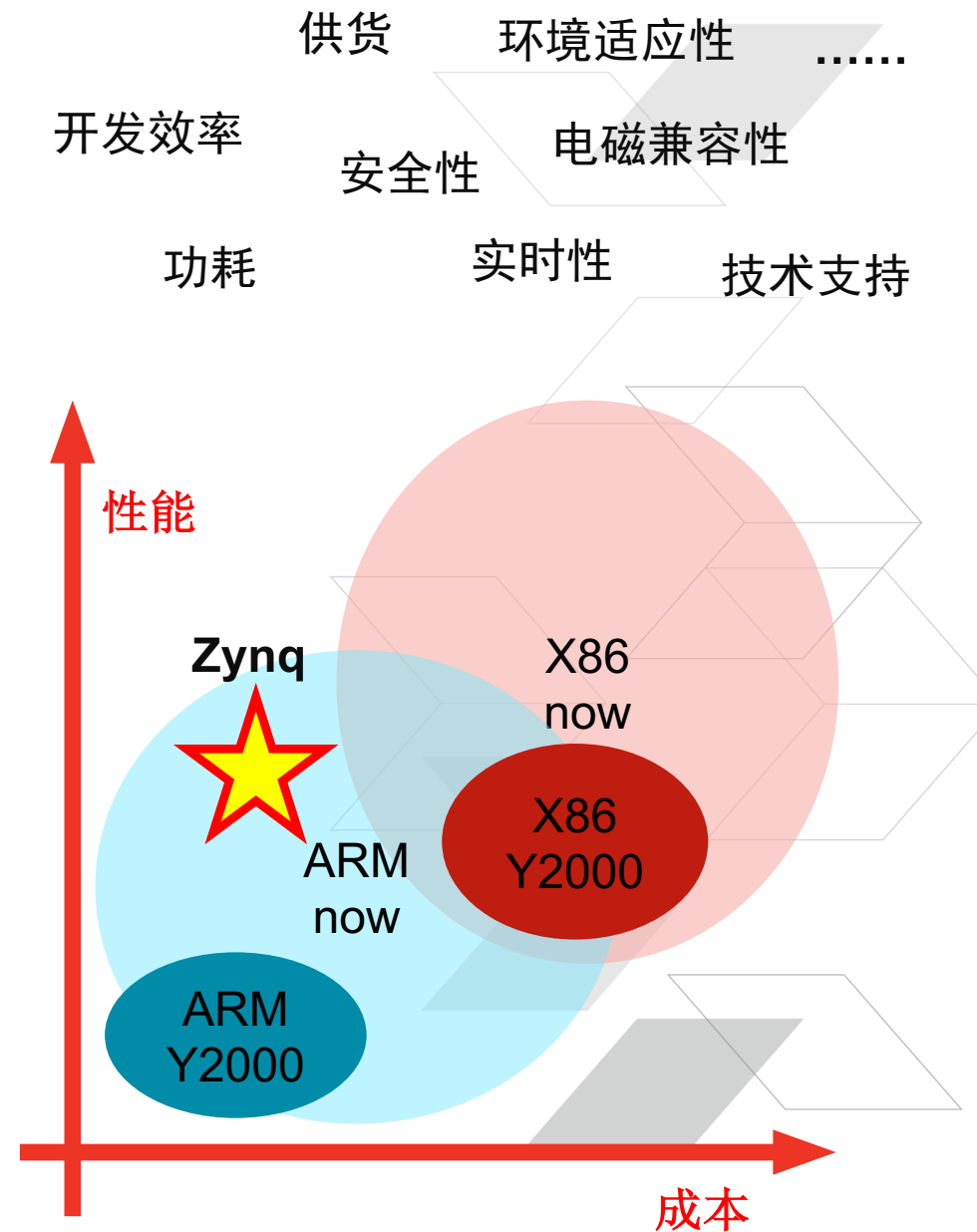
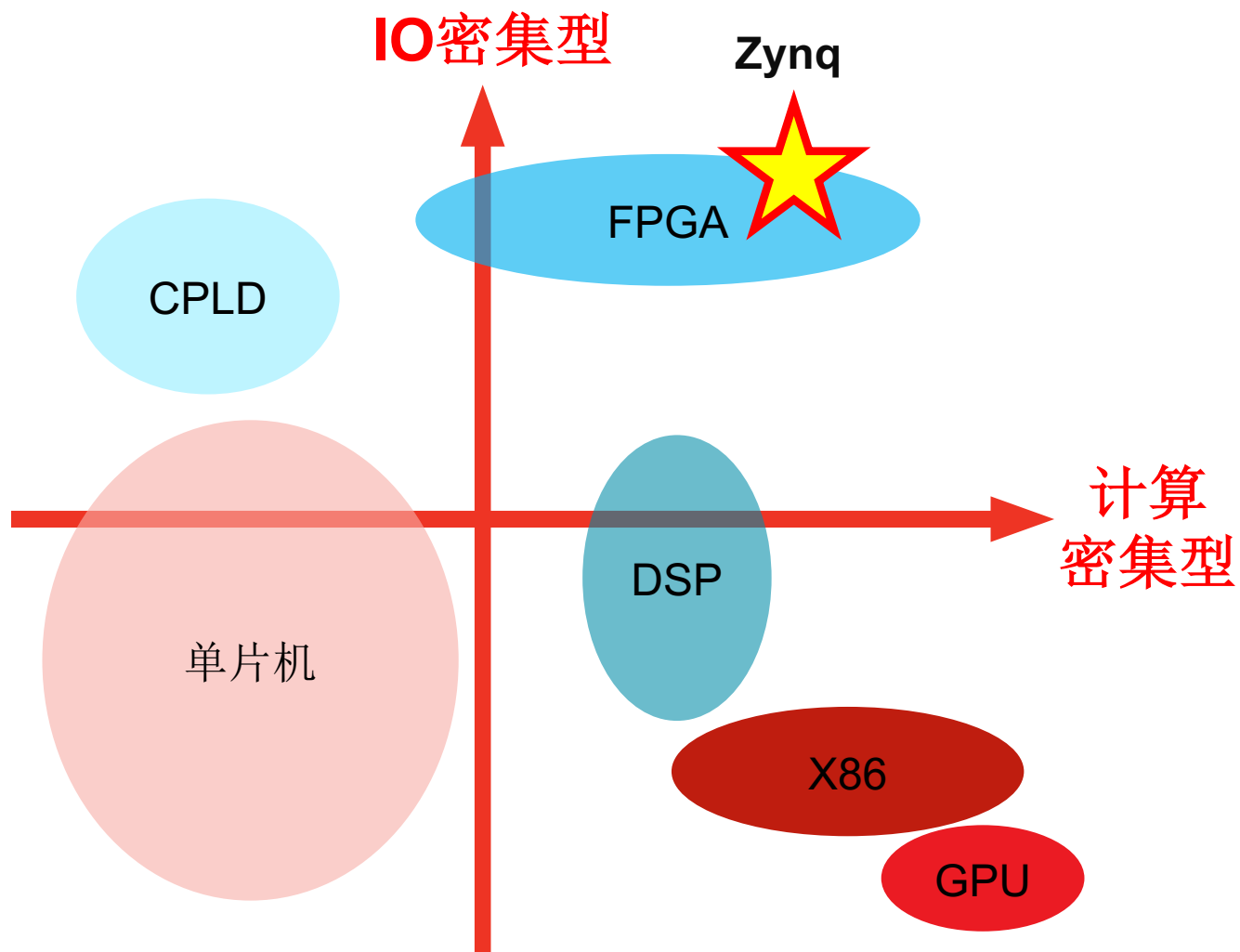
- 编译器：llvm? clang? icc? g++? gcc? 你们用1993年的ads1.2 ?!!!
- 操作系统：前后台，没有操作系统？我们需要 Windows / Linux
- 系统资源：啥，没FPU、GPU、只有百来MB RAM ?! 是的，只能给你1/3
- API兼容性：我们用LwIP，没有高性能TCP/IP协议栈 ...

# X86 计算能力



5轴仿真  
要i7级别的X86

# 平台选择



# RTOS实时性



Zynq: 700MHz Dual Cortex-A9 + FPGA



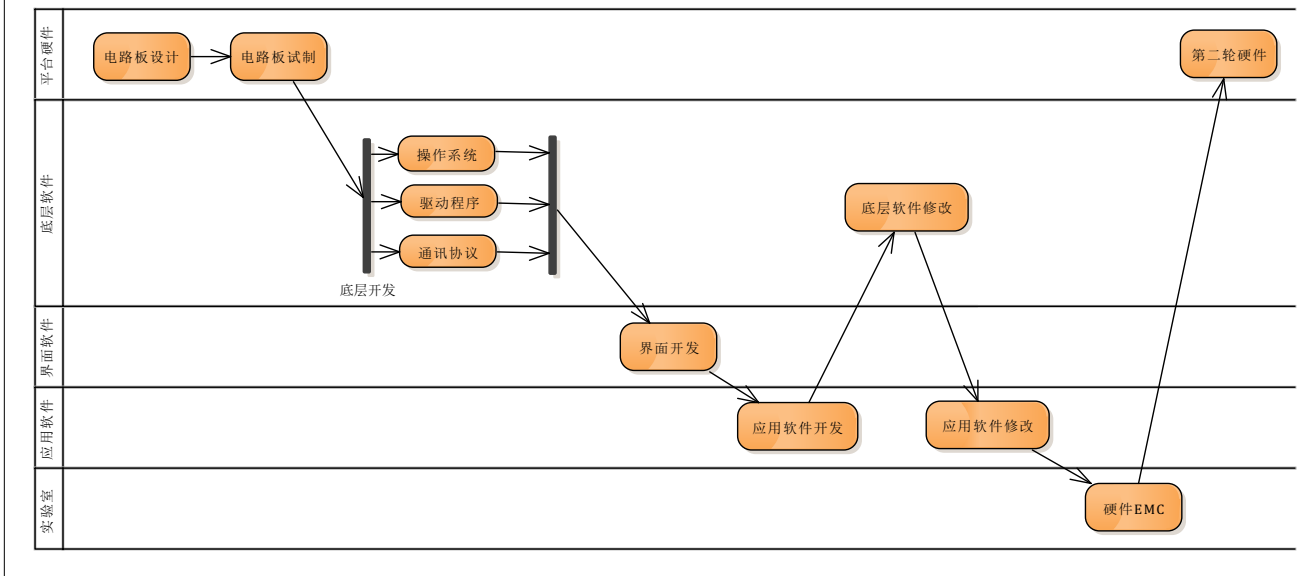
Z530: 1.6GHz 2W X86



OMAP 3530: 720MHz Cortex-A8 + 520-MHz 64x+™ DSP

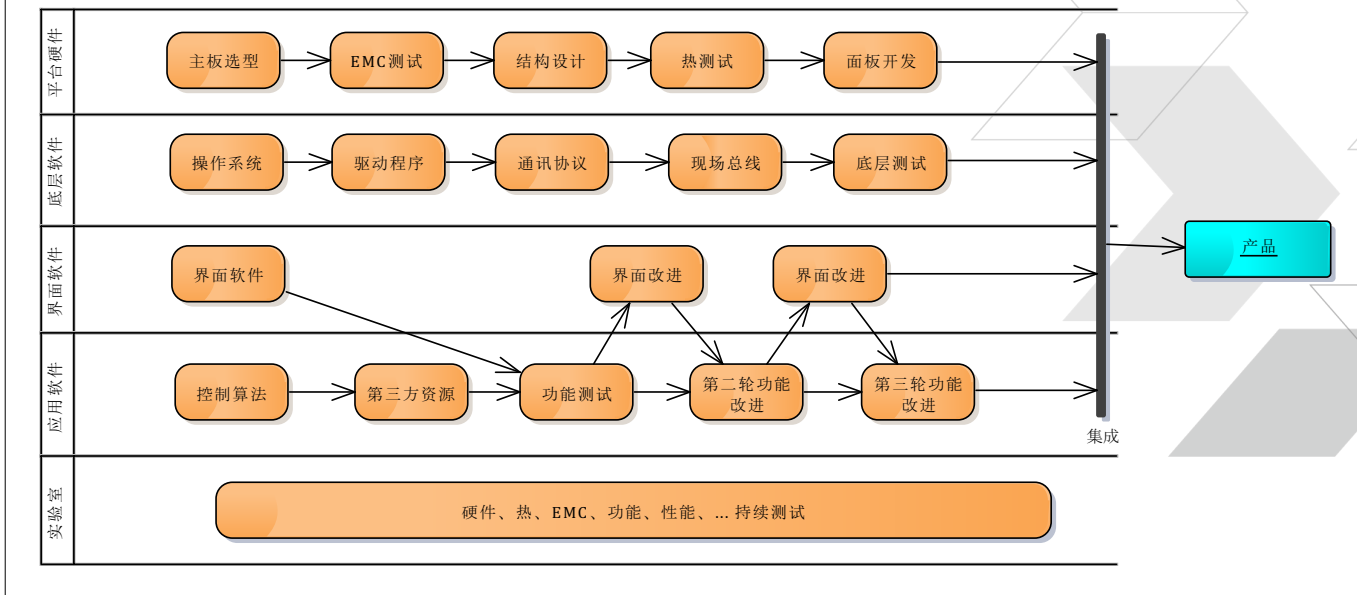


平台	中断实时性	任务实时性
Zynq	强	强
Z530	差	中
OMAP 3530	中	差

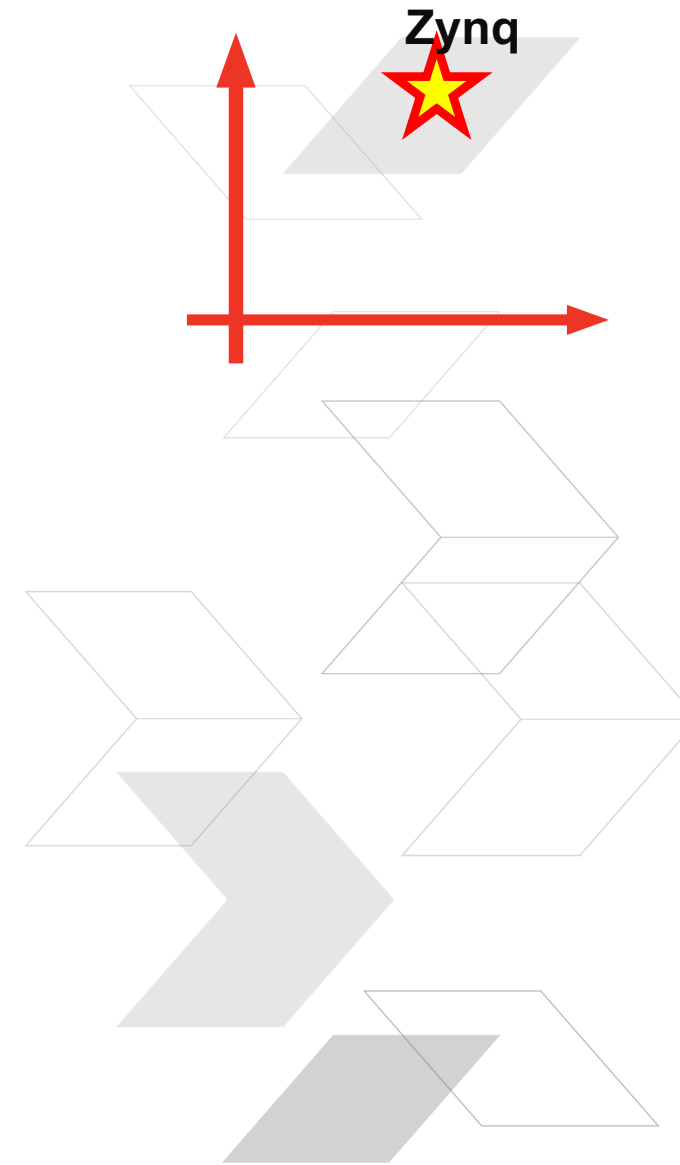
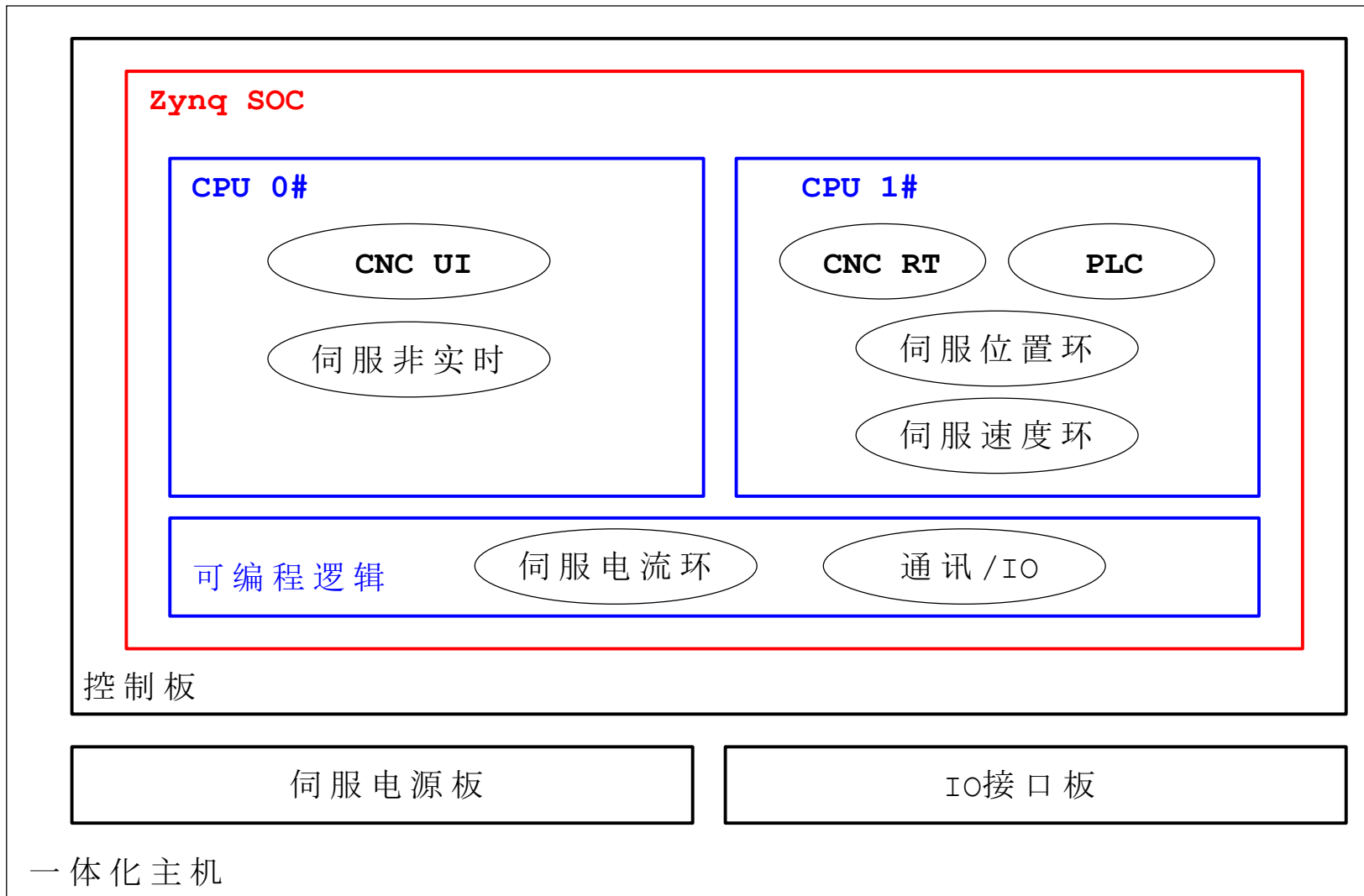


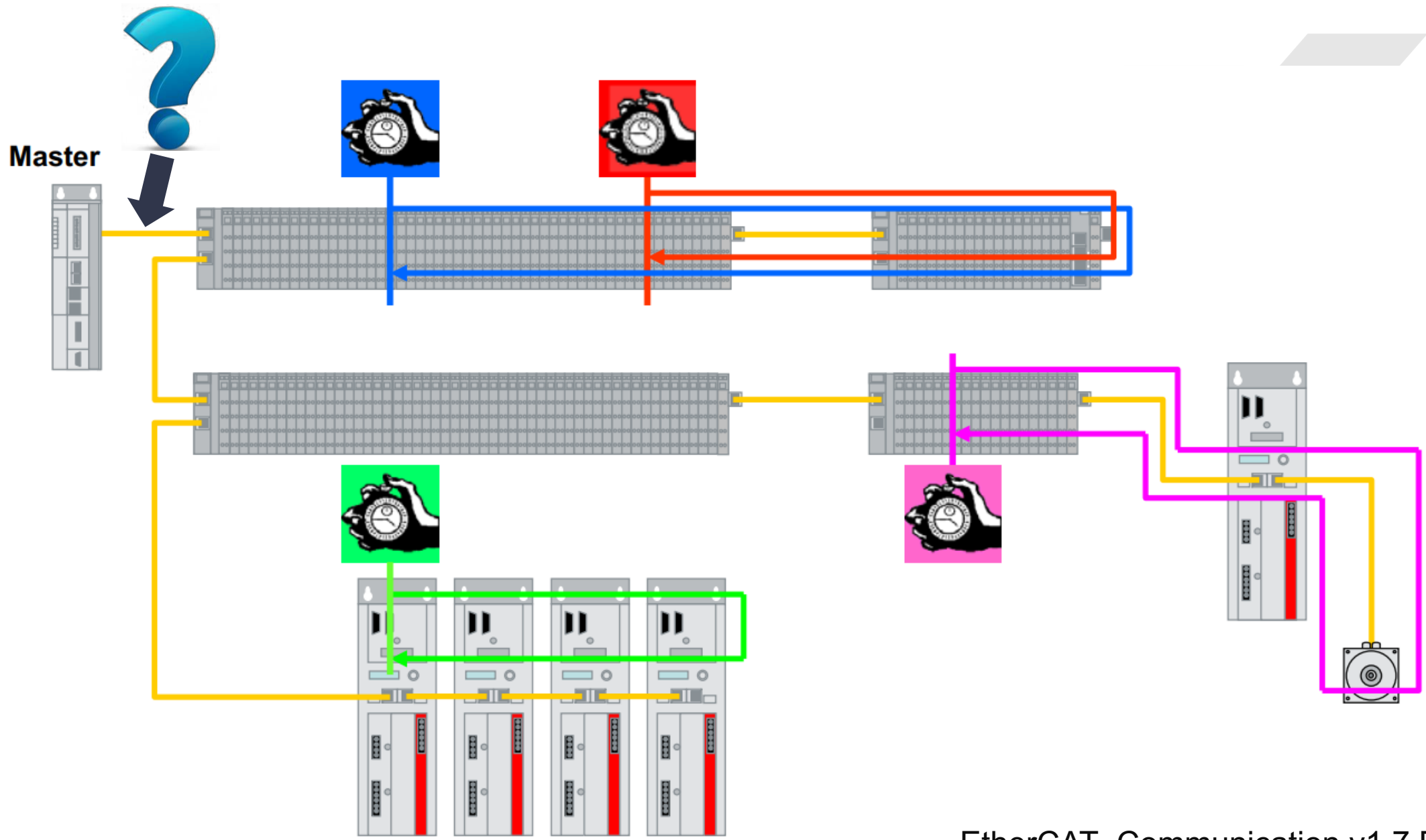
Best in class  
**Embedded**

First in class  
**X86**



# Zynq 控制伺服一体化平台





EtherCAT Communication v1.7 P77  
 © EtherCAT Technology Group

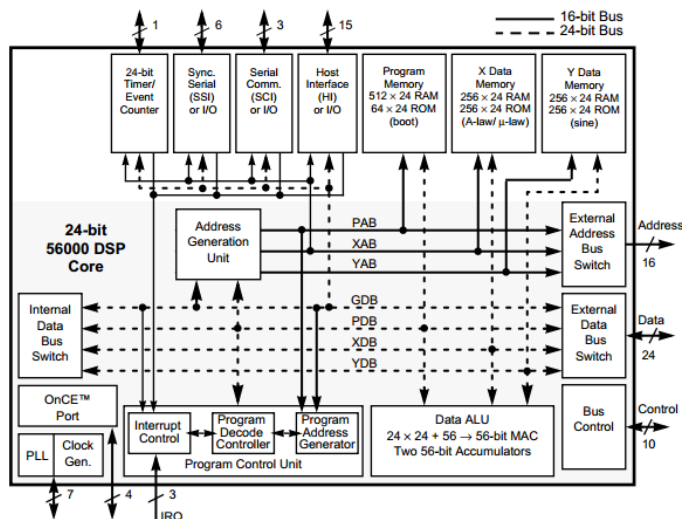


# 期待未来



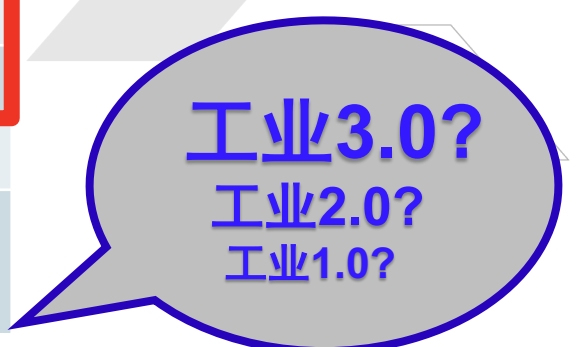
# PMAC / PMAC2

向PMAC顶礼膜拜, 小DSP仰天长笑, 数控人情何以堪!



- 支持S曲线加减速的直线插补;
  - 支持S曲线加减速的圆弧插补;
  - 三次样条插补模式spline;
  - 三次隐式样条插补Hermite-spline (PVT);
  - 运动前瞻控制 (lookahead);
  - 速度前馈, 加速度前馈, 摩擦前馈
  - PID参数可随时任意改变;
  - PID/陷波/前馈伺服算法
  - 可选择的多极点扩展伺服算法;
- .....

NC任务	PMAC / PMAC2
预处理/译码	PC + Windows
运动学规划	+ C Library
队列	PC104
运行模式	16 / 24bit 40MHz – 80MHz DSP
插补	
补偿	
坐标变换	
细插补/输出	
位置环	
速度环	
电流环	
功率输出	
电机	
传动机构	ASIC 输出PWM信号 PWM功率放大器 Any type ...





# 宋师

广州数控设备有限公司  
平台研发部经理

13430387920  
songshi@vip.163.com

**Adaptable.**  
**Intelligent.**



赛灵思工业物联网研讨会  
XILINX IIoT SEMINAR

 XILINX®