

FPGA

Field Programmable Gate Array

Stručný přehľad

Ing. David Gustafík

MicroStep - MIS

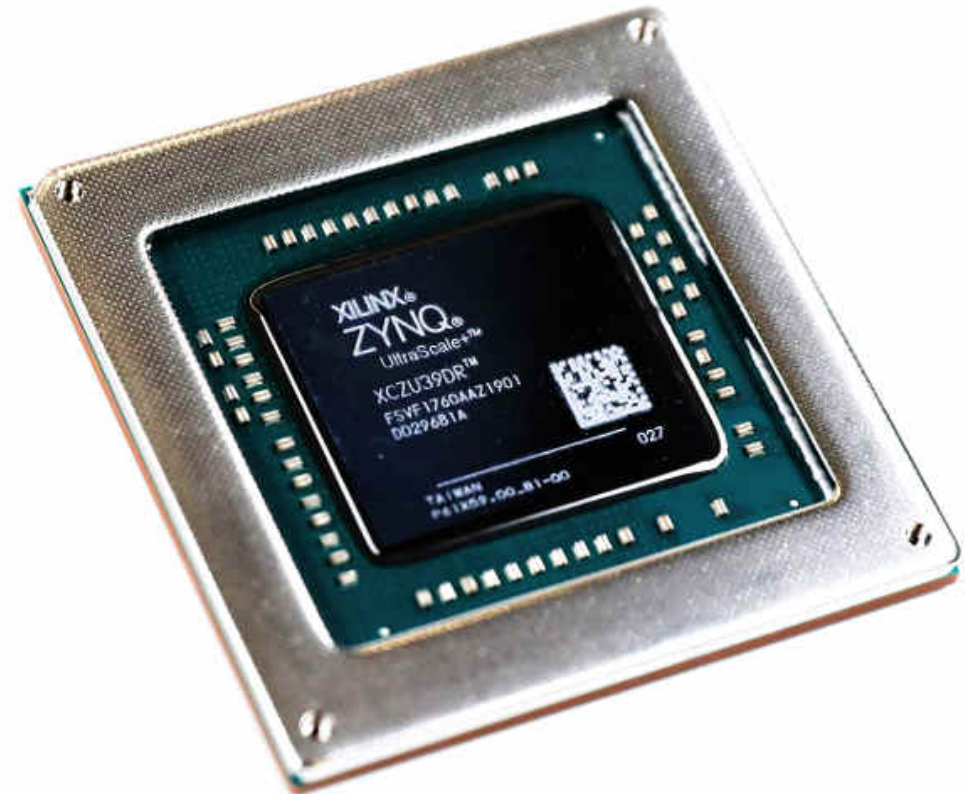
david.gustafik@gmail.com

Čo sa bude preberať?

- FPGA – čo to je
 - Aplikácie
 - Čo obsahujú a ako fungujú
 - Ako sa s nimi pracuje
 - Malá ukážka
-
- V prednáške môžu byť použité zjednodušenia a niektoré veci nie sú univerzálne platné a sú pre ne dôležité výnimky
 - Údaje sú hlavne z aktuálnych produktov firmy Xilinx, no situácia je podobná aj u produktov iných výrobcov
-
- All product names, logos, brands, trademarks and registered trademarks are property of their respective owners.

Čo je to FPGA?

- Digitálny integrovaný obvod
- Obsahuje veľké množstvo hradiel, klopných obvodov a iných logických blokov a infraštruktúru pre ich prepojenie
- Jednotlivé bloky nie sú fixne prepojené
- Čo je s čím spojené zadáva užívateľ, čím definuje funkciu obvodu



Čo je to FPGA?

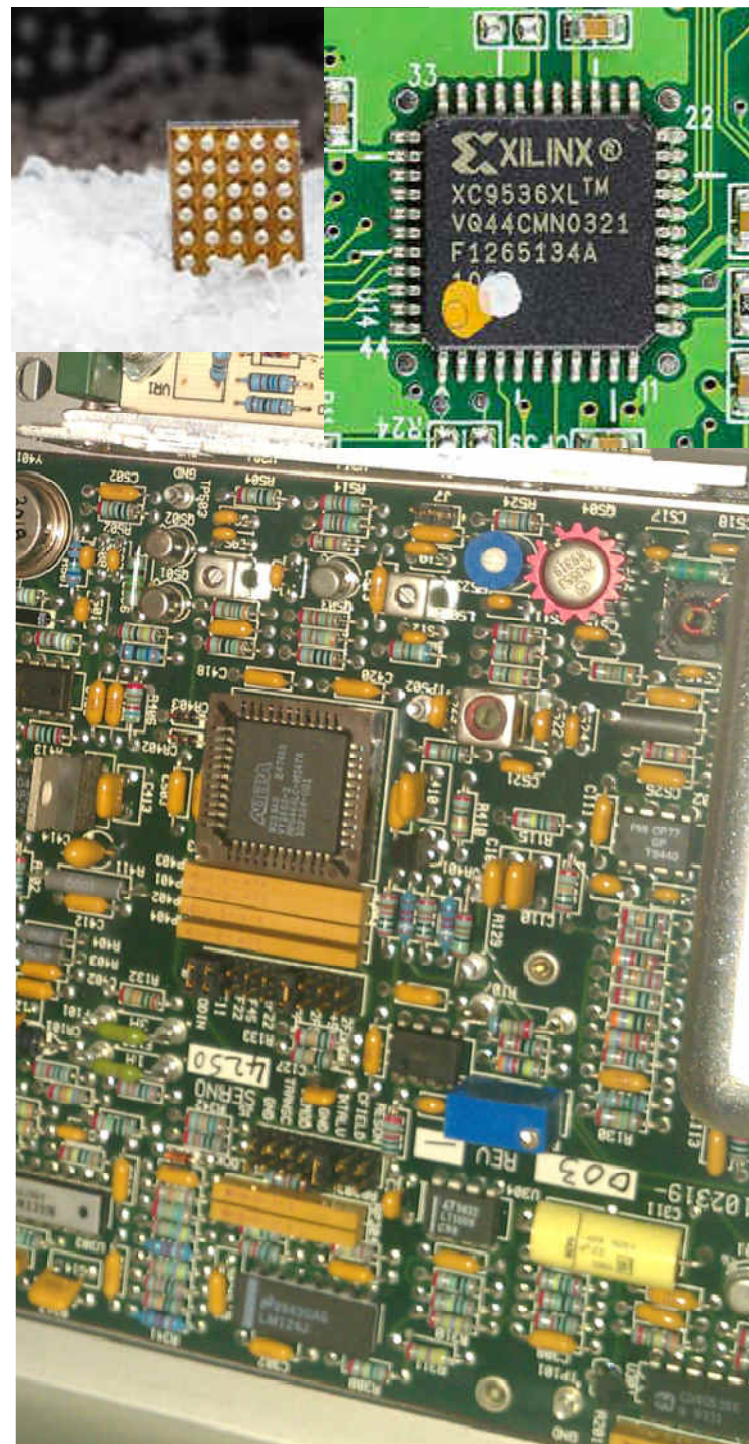
- Definovanie funkcie sa deje pomocou vyšších jazykov
 - Dizajnér vo vyššom jazyku popíše funkciu
 - Nižšie jazyky – Verilog, VHDL, schémy
 - Vyššie jazyky – C, Matlab...
 - Kompilácia do hardware
- Funkcia môže byť jednoduchá alebo extrémne zložitá, je možné na jedno FPGA napratať aj stovky jednoduchých procesorov

FPGA – veľkosti

- Malé súčasné FPGA (najmenší Spartan 7) má < 1 000 CLB a <20kB RAM
- Veľké FPGA môže mať > 1 000 000 CLB, niekoľko GB RAM (VU45P), 2000+ GPIO, tisíce DSP blokov a iné (veľké Virtex UltraScale+), iná rodina má vstavaný 4 jadrový výkonný ARM procesor (ZYNQ)
- Extrémny rozsah možných aplikácií
- Okrem FPGA sú aj nižšie kategórie PLD – PAL, GAL, CPLD

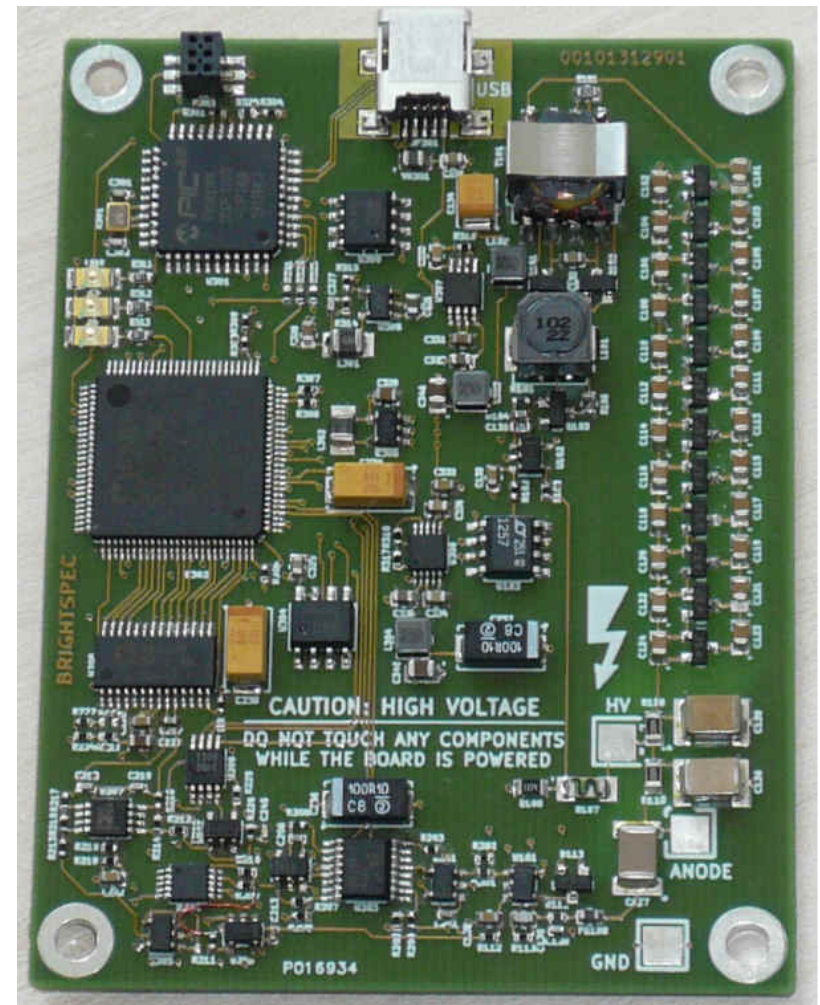
Aplikácie – veľmi jednoduché

- Veľmi jednoduché aplikácie
- FPGA/CPLD je náhradou zopár logických IO
- Praktickejšie než použiť MCU alebo fixnú logiku
 - Delička do PLL
 - Impulzný generátor
 - Board controller
 - Bezpečnostný interlock



Aplikácie - malé

- Ľahko zložitejšie aplikácie
- Nie je nutne použité zložité spracovanie signálov
 - Riadenie motorov
 - MCA – Multichannel Analyzer
 - FPGA spracúva signál z rýchleho ADC, robí histogram výšky impulzov
 - Jadro multislope A/D prevodníka
 - Prevodník medzi komunikačnými protokolmi
 - Meteosnímače

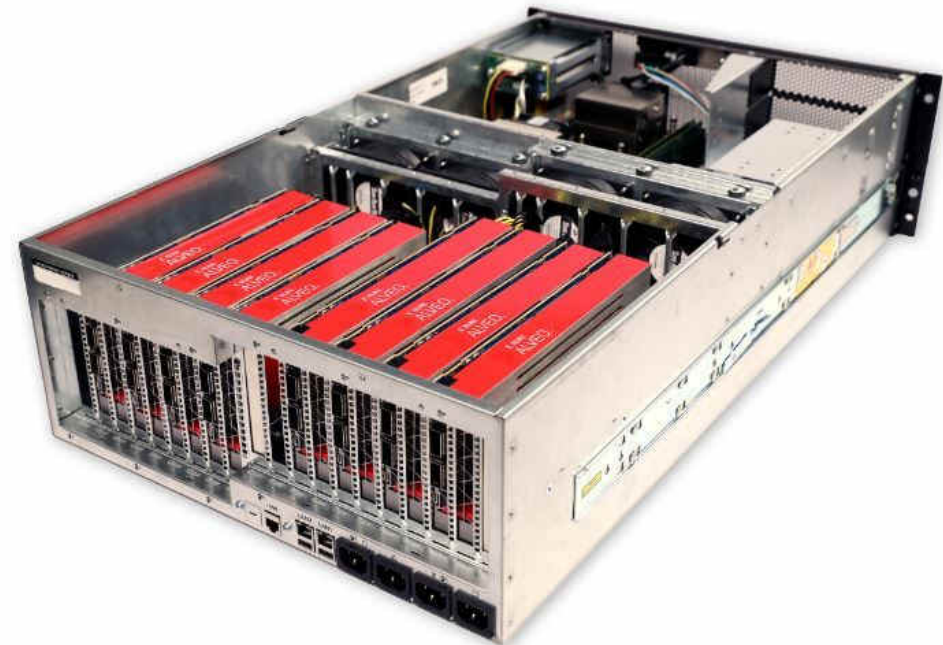
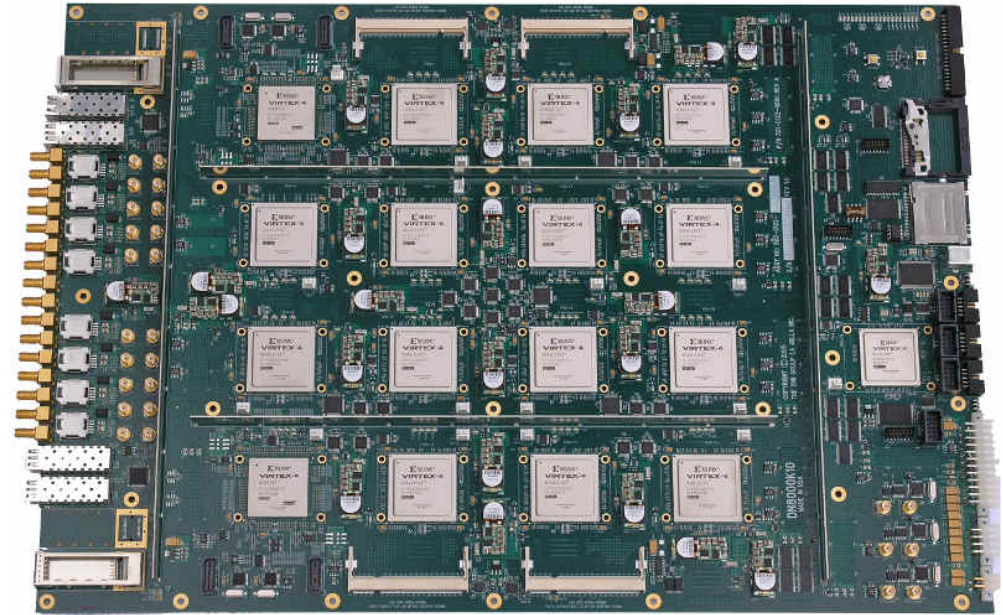


Aplikácie - stredné

- Rôzne prostriedky využité – rýchle spracovanie signálov, veľké využitie pamäte...
 - Serial port server – prevodník Ethernet – 32 USARTov
 - ARM procesor v FPGA sa staral o Ethernet a Linux
 - USARTy boli vytvorené v konfigurovateľnej logike
 - Osciloskopy a meracia technika všeobecne
 - Lekárske prístroje – ultrazvuky, MRI...
 - Audio/Video
 - Emulátory
 - Staré architektúry (Atari, Commodore, ZX Spectrum, Cray dokonca...)
 - Náhrada starých technológií

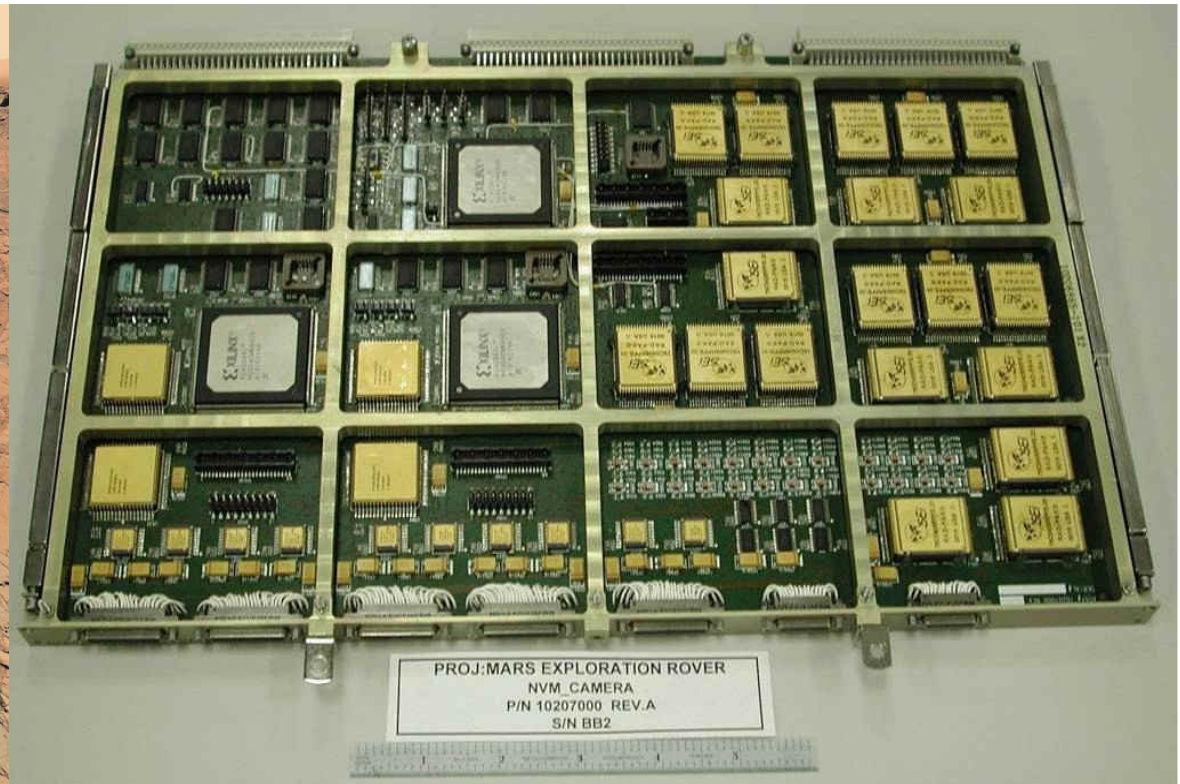
Aplikácie – veľké

- Masívne aplikácie kde sú použité veľké FPGA, aj väčšie množstvá
 - Superpočítače
 - Cloud/AI
 - Výpočtové akcelerátory
 - Emulátory
 - Pre vývoj polovodičov
 - Telekomunikačné vybavenie
 - Video
 - RF



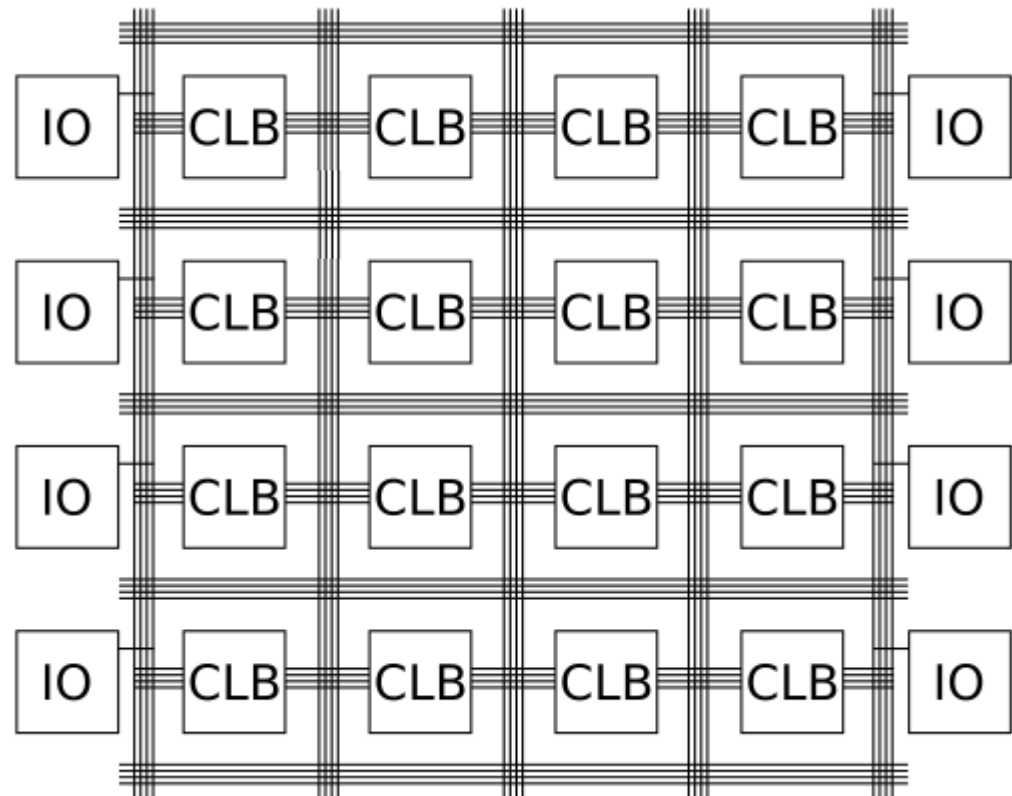
Aplikácie - zhrnutie

- Veľmi široký rozsah možných aplikácií
- Extrémne flexibilné
- Používané hlavne do menších a stredných sérií, v spotrebnej elektronike veľmi zriedkavé
- Zariadenia aj pre vesmírne aplikácie, zopár je ich aj na Marse ☺
- Výborné na výskum



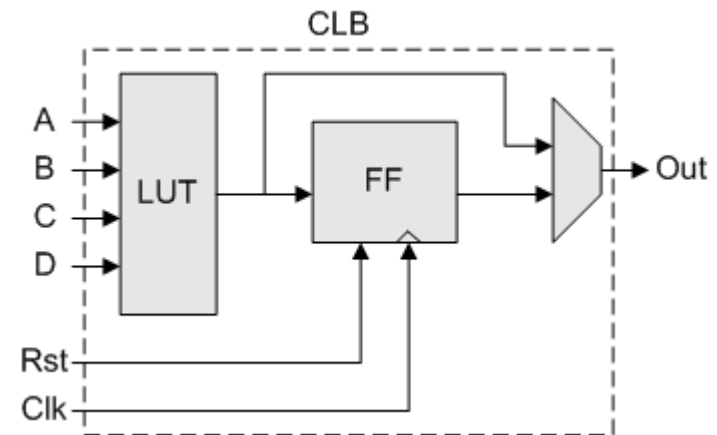
Čo je v FPGA?

- Konfigurovateľné logické bloky CLB
- Prepojovacia infraštruktúra
- Pevné bloky
- Réžia
- IO

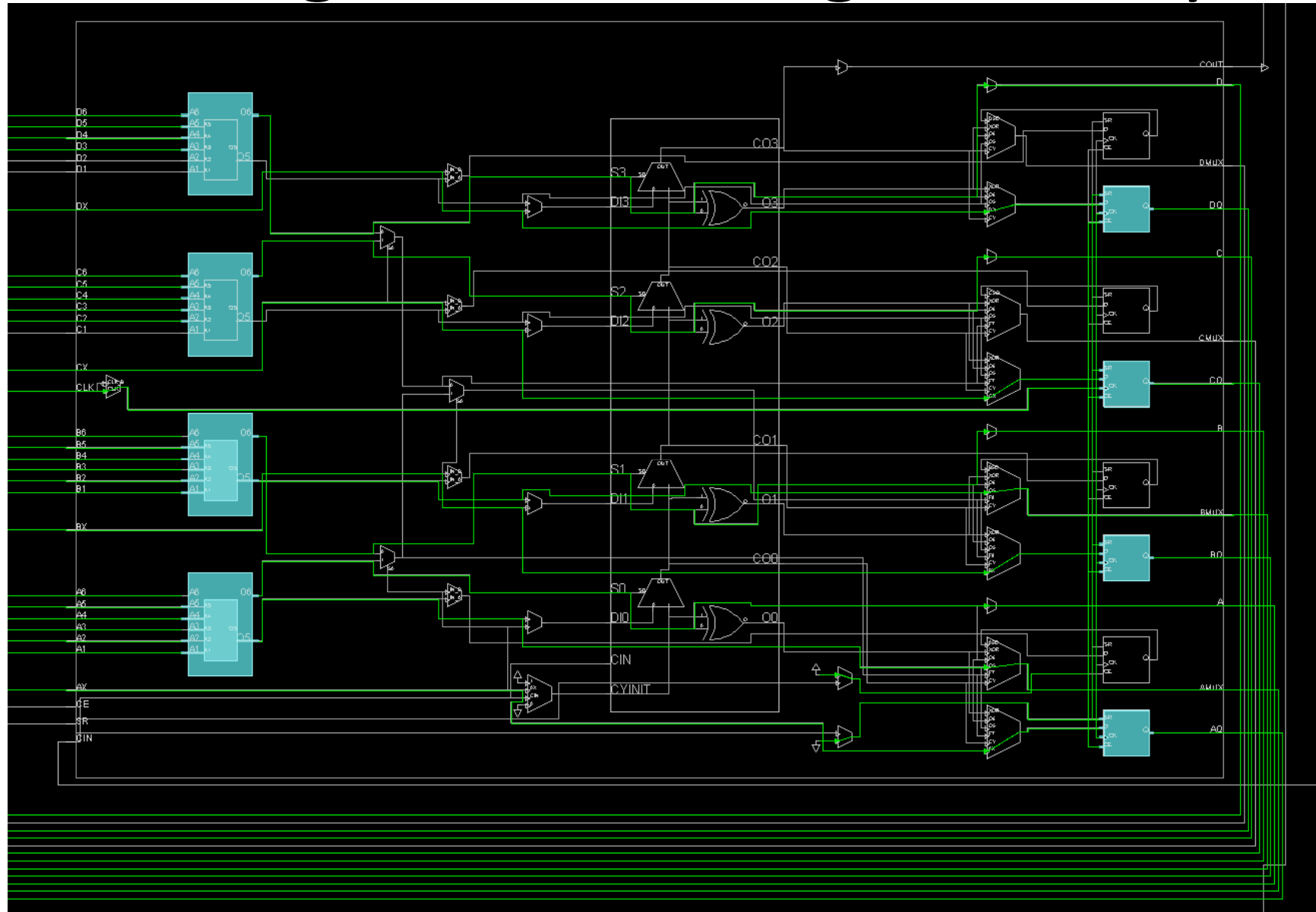


Konfigurovateľné logické bloky

- Základný stavebný kameň FPGA
- Obsahuje:
 - Univerzálne logické členy LUT
 - N vstupové tabuľky ktorým sa nahrá konfigurácia na začiatku a sú schopné akejkolvek logickej funkcie
 - Až 6 bitové tabuľky, závisí od série a výrobcu
 - Synchronne D klopné obvody
 - Registre ktoré umožňujú fungovanie zariadenia ako sekvenčné zariadenie
 - Carry logika
 - Na zjednodušenie niektorých bežných operácií je možné bloky ktoré sú vedľa seba prepojiť jednoduchšie
 - Iné
 - Multiplexory, LUTRAM...

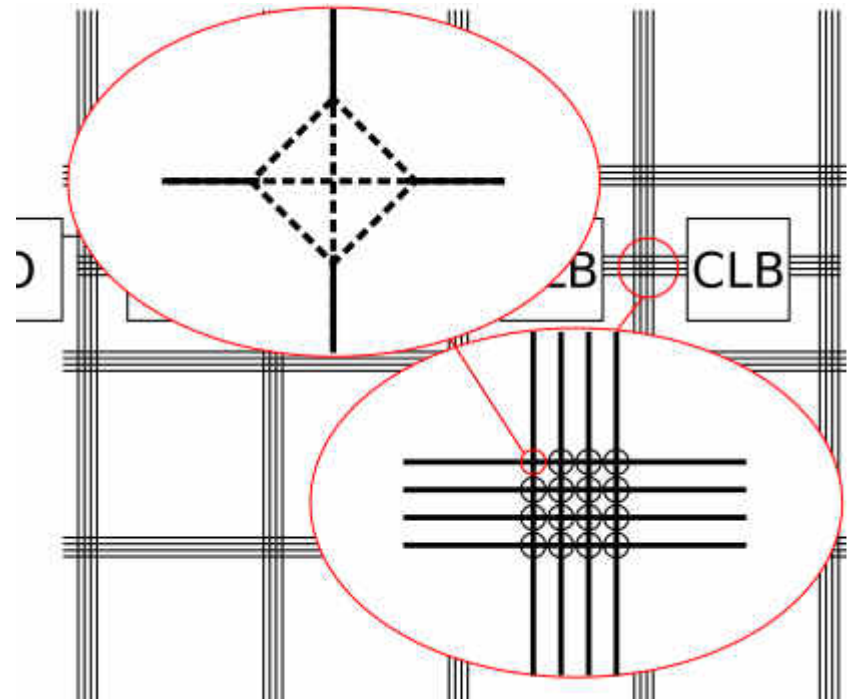


Konfigurovatelné logické bloky

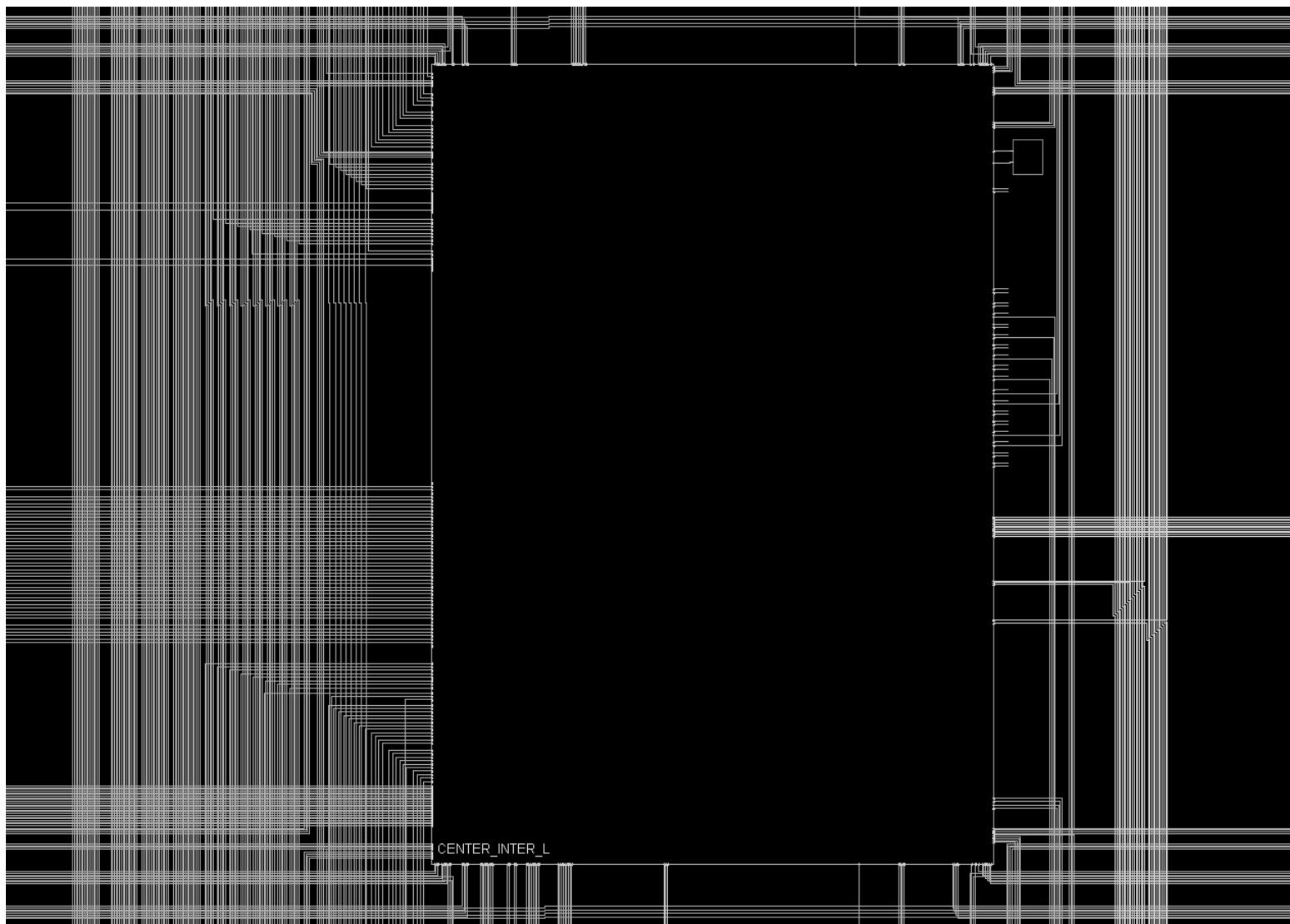


Prepojovacia infraštruktúra

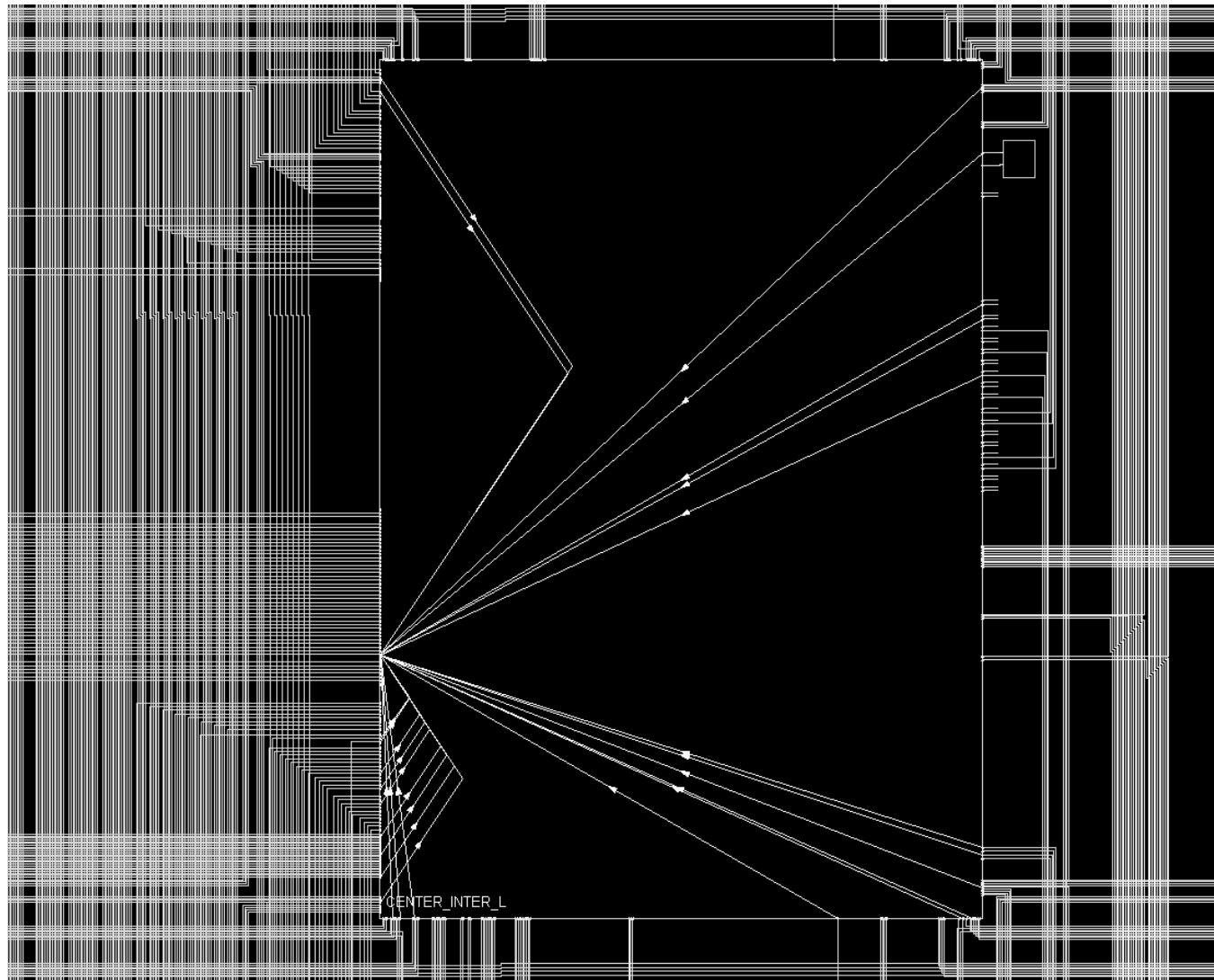
- Prepoje medzi jednotlivými blokmi FPGA
- Veľké množstvo potenciálnych prepojov
- Nastavia sa pri konfigurovaní
- Umožňujú prepojiť ktorýkoľvek bod FPGA s ktorýmkoľvek iným bodom
- Kritickou je infraštruktúra na distribúciu hodín
 - FPGA sa používajú prakticky len ako synchronne logické zariadenia



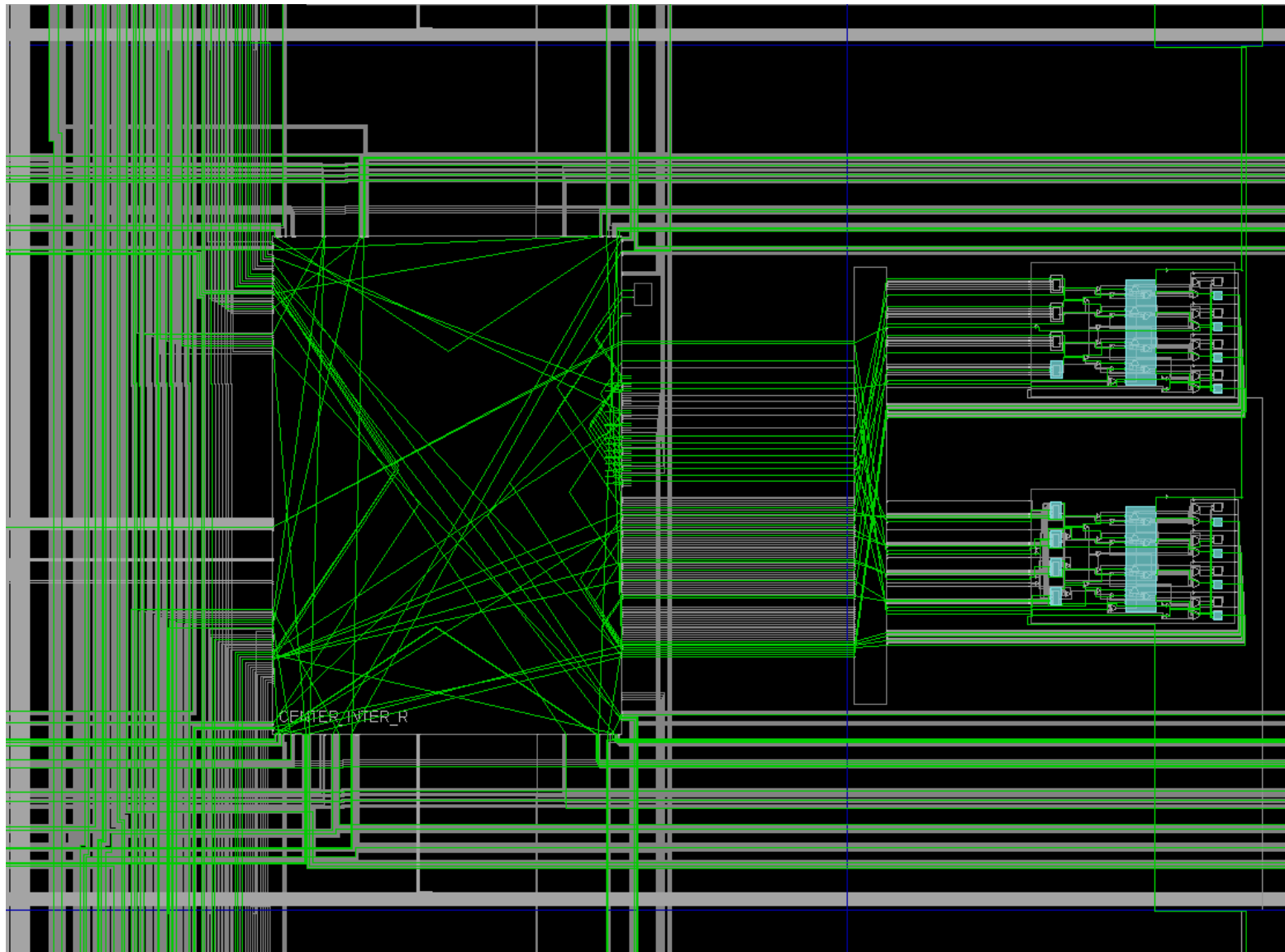
Prepojovacia infraštruktúra – switch matrix - nenakonfigurovaný



Prepojovacia infraštruktúra – switch matrix – kam sa môže spojiť jeden bod



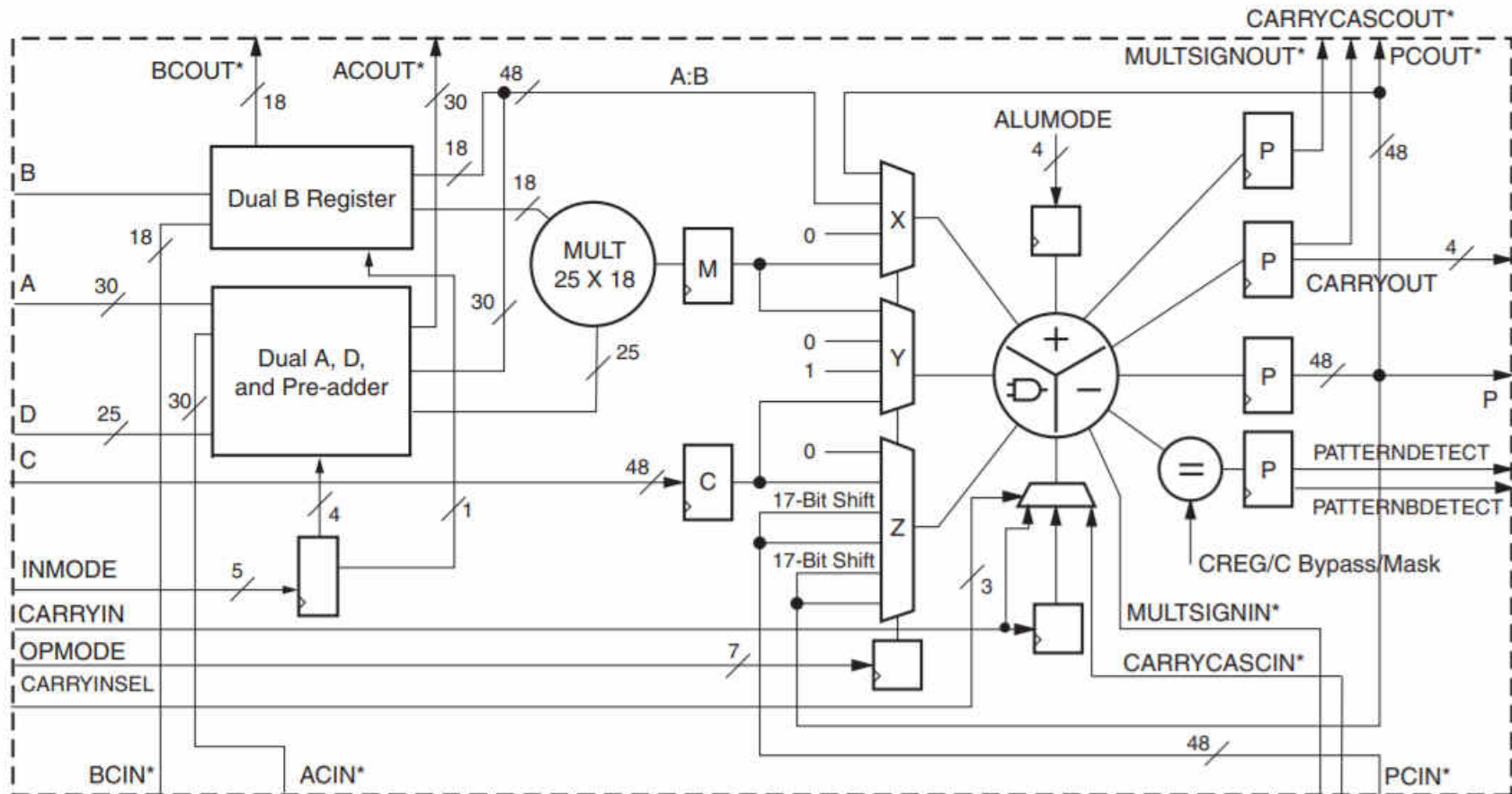
Prepojovacia infraštruktúra



Pevné bloky

- Niektoré funkcie je nepraktické alebo nemožné vyskladať z univerzálnych blokov
- Tieto fixné bloky plnia jednu bežnú úlohu
- Dajú sa prepojiť so zvyškom FPGA cez prepojovaciú infraštruktúru
- Niektoré bloky:
 - DSP bloky
 - FIFO/RAM bloky
 - typicky relatívne malé pamäte, no sú aj výnimky ako IO s 16GB rýchlej (460GB/s) pamäti na puzdre
 - PLL
 - A/D a D/A prevodníky
 - Transceivry (rôzne protokoly, extrémne rýchlosti), niektoré so vstavanými optickými rozhraniami
 - Celé procesory (Zynq séria – výkonný viacjadrový ARM procesor obklopený programovateľnou logikou)
 - Iné

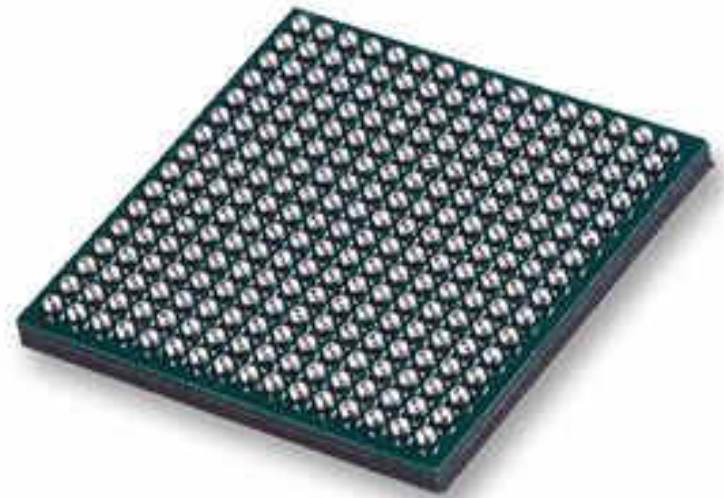
Pevné bloky – DSP48



Réžia

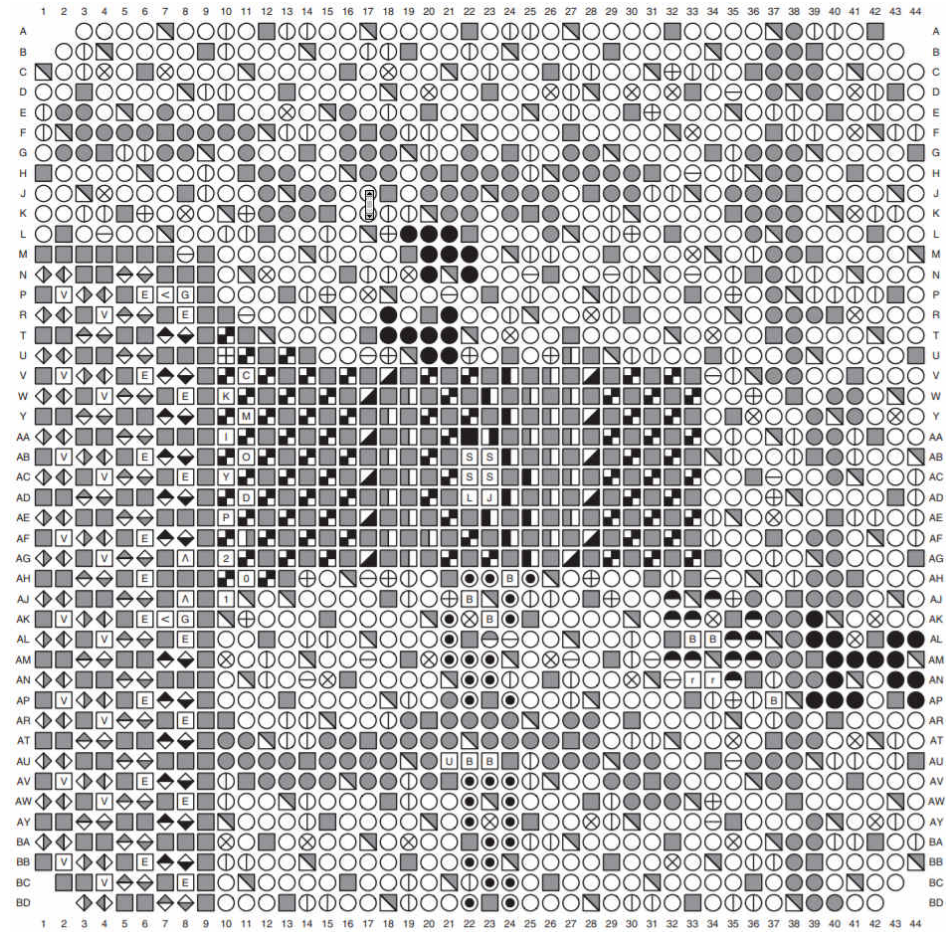
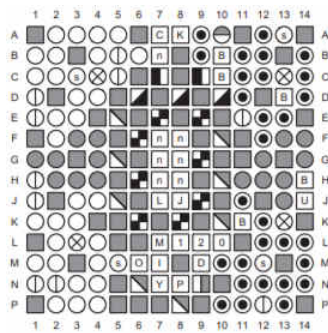
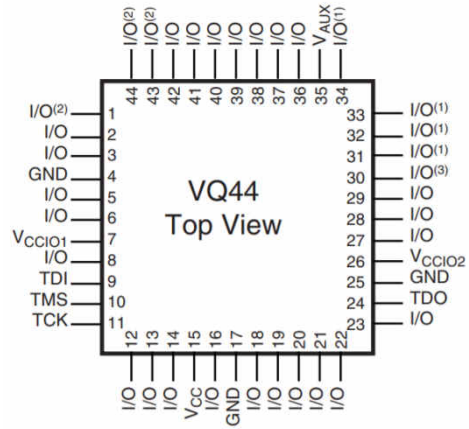
- Konfiguračné bloky
- Diagnostika
- Šifrovanie a zabezpečenie proti kopírovaniu
- Iné

IO



- FPGA majú veľmi flexibilné IO
- Veľké množstvo skutočných GPIO
 - Bežne 100+ IO pinov
 - Extrémny prípad 2000+ IO pinov (VU19P)
- Jednotlivé banky pinov môžu byť napájané rôznymi napätiami
 - Veľké FPGA môžu mať desiatky bánk
- Podpora rôznych štandardov, single ended aj diferenciálnych
- Vstavané terminátory a pull-up/pull-down odpory
- Režijne piny
 - JTAG, konfiguračné piny
- Napájacie piny
- Analógové piny pre ADC/DAC
- Fyzicky väčšinou v BGA, veľké množstvo pinov (aj 2500+)

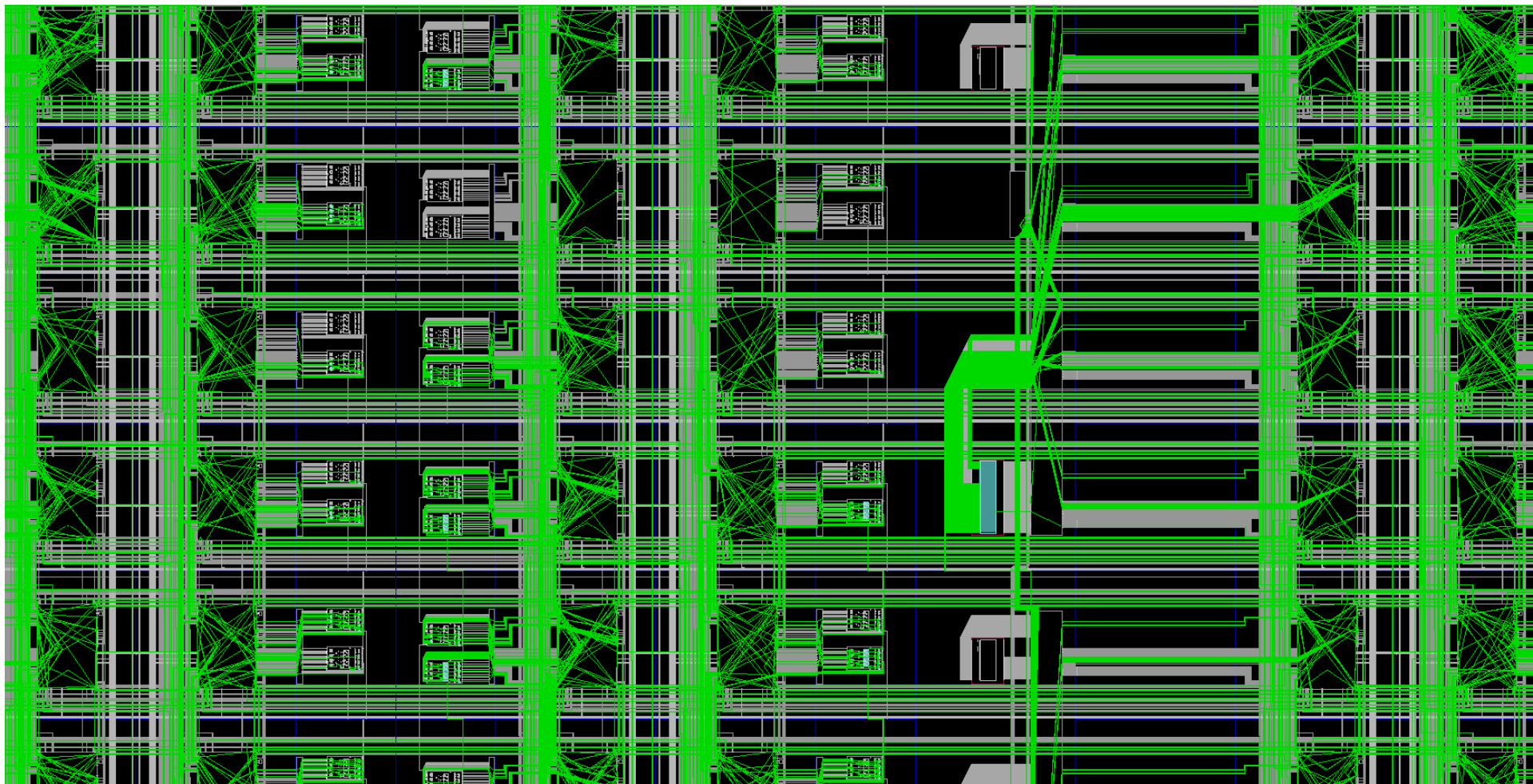
IO



Čo je v FPGA – celok

- Všetky bloky sú v jednom integrovanom obvode
- Bloky sú usporiadané podľa konkrétneho zariadenia
- Funkčné bloky sú obklopené prepojovacou infraštruktúrou, ktorá umožňuje ich prepojenie
- Našťastie, väčšinu času vývojár nemusí riešiť jak to funguje dnuka – o to sa postará kompilátor

Čo je v FPGA – celok



Výhody

- **Rýchlosť**
 - FPGA sú jedinou nie-ASIC kategóriou IO ktoré umožňujú spracúvať niektoré typy údajov v reálnom čase
 - Spracovanie veľkých objemov dát v reálnom čase, s perfektne deterministickým časovaním
- **Rekonfigurovateľnosť**
 - Možnosť meniť vnútorné zapojenie zariadenia
 - Možnosť aplikovať „hardwarový“ update na diaľku zmenou konfigurácie
- **Flexibilita**
 - K FPGA je možné pripojiť prakticky akékoľvek digitálne zariadenie
 - Široký výber rozhraní
 - Veľké možnosti spracovania
- **Cena**
 - Alternatíva k riešeniu s FPGA by bola drahšia, ak vôbec možná
 - Vývoj a výroba ASIC – extrémne náklady, nereálne pre jednotlivca/malé firmy iného zamerania
- **Unikátna kategória zariadení ktoré umožňujú aplikácie ktoré by inak neboli praktické**
- **Špeciálne miesto na trhu**

Nevýhody

- Nie všetky nevýhody sa vzťahujú na každé zariadenie a situáciu
- Zložitosť návrhu
 - Vysoké požiadavky na podporné súčiastky – zložitý „minimálny návrh“
 - Viacero napájacích napätí
 - Komplikovaná DPS
- Strmý „Learning curve“
- Spotreba
 - FPGA majú relatívne vysokú spotrebu v porovnaní s inými zariadeniami
- Efektivita
 - ASIC vždy dosiahne lepšie výsledky pre danú aplikáciu, len má extrémne vysoké NRE náklady
- Volatile zariadenia
 - Väčšina FPGA si neuchováva konfiguráciu, treba ju načítať z externej pamäte

Nevýhody

- Cena
 - Cena jednotlivých IO je relatívne vysoká v malých sériách
 - Najvyššie FPGA môžu stať 50 000+ EUR/ks
- Nástroje
 - Nástroje zadarmo sú obmedzené na relatívne malé zariadenia
 - Platené nástroje sú drahé
 - Dlhá kompilácia a náročnosť na prostriedky
 - Súkromný názor: Jazyky z pekla (VHDL je zlo, Verilog len bolí)
- Closed source

Nevýhody

Porovnaj vybrané produkty (0) Ďalšie v

Č. položky výrobcu	Objednávací kód	Výrobca alebo popis	Dostupné	Cena za	Cena	Množstvo
 XCVU13 P-L2FI GD2104 E	3132220  Nový produkt  Data Sheet  RoHS	XILINX FPGA, VIRTEX ULTRASCALE+, FCBGA-2104 (0) No. of Logic Blocks 1728000 No. of Macrocells 3780000 FPGA Family Virtex UltraScale+ + Zobrazíť všetky informácie o produkte	Čaká na dodanie (Dostupné pre nevybavené objednávky v zobrazenej dodacej lehote) Kontrola stavu a dodacích lehôt	kus	1+ 66 370,00 €	<input type="text" value="1"/> Pridať Min: 1 Mult 1

Vývoj s FPGA

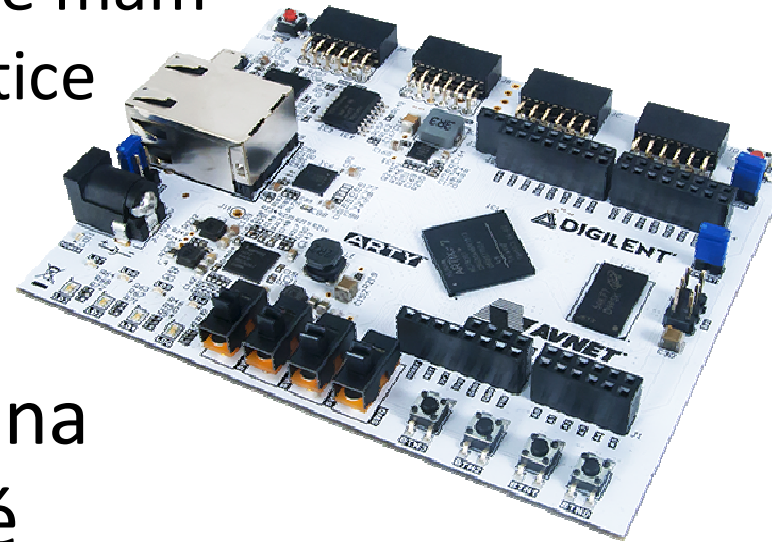
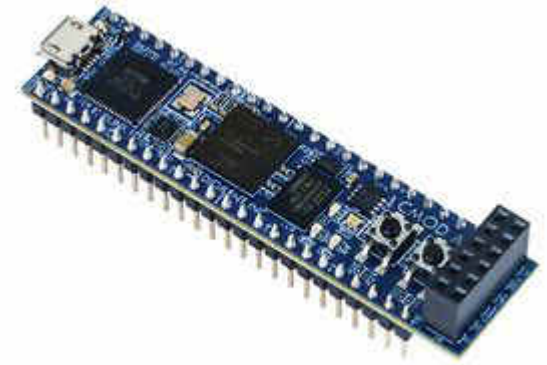
- Zadanie
 - Požiadavky na funkciu, rýchlosť...
- Design entry
 - Priradenie pinov, nastavenie constrainov, hodín...
- Design samotný
 - Samotné programovanie
- Simulácie
 - Simulácie fungovania pred a po implementácií
- Syntéza + Implementácia
- Bistream
- Overenie funkcie na reálnom zariadení

Ukážka použitia FPGA

- Veľmi jednoduchá ukážka – PWM generátor
- Viackanálový PWM generátor
- Rýchly popis kódu
- Ukážka simulácií
- Kompilácia – implementácia
- Pohľad dovnútra
- Nahratie kódu

Ako začať?

- Online tutorialy
- Stiahnuť IDE od výrobcu
 - Osobná preferencia: Xilinx, ale mám v pláne experimentovať s Lattice
- Zakúpiť vývojový kit a experimentovať!
- Postaviť vlastný hardware a na ňom spraviť niečo zaujímavé



Odkazy

- Výrobcovia:
 - <https://www.xilinx.com/>
 - <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/programmable.html>
 - <https://www.latticesemi.com/Products>
- Tutorialy a iné:
 - <https://www.fpga4fun.com/>
 - <http://www.asic-world.com/verilog/veritut.html>
- Devboard:
 - <https://sk.farnell.com/digilent/410-319/artix-eval-board-artix-7-fpga/dp/2817946>
 - Sú aj iné, lacnejšie
- Výrobca modulov:
 - <https://www.enclustra.com/en/home/>
- Diskusné fórum:
 - <https://www.eevblog.com/forum/index.php>