

Arhitekture računalniških sistemov [IPP:2.1-2.3]

von Neumannova arhitektura in izboljšave

- centralna procesna enota ali procesor, pomnilnik, V/I naprave
- delovanje: prevzem ukaza, dekodiranje, prevzem operandov, izvajanje, shranjevanje
- zaporedno izvajanje ukazov
- pomnilniško ozko grlo
- izboljšave:
 - pomnilniška hierarhija
 - izkoriščanje prostorske in časovne lokalnosti
 - vzporedenje v strojni opremi

Pomnilniška hierarhija

- procesor z registri (P), predpomnilnik (C), glavni pomnilnik (M) in navidezni pomnilnik (VM)
- dostop do glavnega pomnilnika je dva velikostna reda počasnejši kot do registrov (latenca in prepustnost)
- večnivojski predpomnilnik
 - organiziran v predpomnilniške bloke
 - vedno se prenaša cel predpomnilniški blok
 - če podatkov ni, procesor še vedno čaka
 - zadetek in zgrešitev v predpomnilniku
 - tipi predpomnilnikov: asociativni, set-asociativni in direktni
 - pomembno je zagotavljanje skladnosti pomnilnikov (pisanje skozi, pisanje nazaj)
- navidezni pomnilnik
 - razširitev glavnega pomnilnika
 - bistveno počasnejši od glavnega pomnilnika, še večja potreba po lokalnosti
 - odstranjevanje in napaka strani

Vzporedenje v strojni opremi

- cevovod
 - funkcijske enote so razvrščene v stopnje
 - stopnje naj bi bile čim bolj enako kompleksne
- vektorski ukazi
 - hkratno izvajanje istega ukaza na več skalarnih operandih
 - posebni ukazi
- več funkcijskih enot
 - izkoriščajo paralelizem v enem ukaznem toku
- špekulativno izvajanje
 - med izvajanjem pogoja lahko izvajamo ukaze, ki sledijo
- superskalarnost
 - vzporedno izvajanje neodvisnih ukazov
 - dodeljevanje funkcijskih enot poteka med izvajanjem
- strojne niti
 - hkratno izvajanje različnih programskih tokov
 - izkoriščajo prisotnost več enakih funkcijskih enot

Sistemi s skupnim pomnilnikom

- *angl.* shared memory systems
- imajo enega ali več procesorjev z enim ali več procesorskimi jedri
- procesorji so s skupnim pomnilnikom povezani preko vodila
- procesorji si delijo skupni pomnilnik

- spremembe v pomnilniku vidijo vsi procesorji
- pomnilnik je razdeljen na module, do enega modula dostopa en procesor naenkrat
- vsak procesor ima svoj L1 predpomnilnik, saj vanj poleg podatkov shranjuje tudi ukaze
- predpomnilnika L2 in L3 shranjujeta samo podatke, zato si jih lahko deli več procesorjev
- enovit naslovni prostor
- arhitekturi UMA in NUMA
 - kompleksnost in raztegljivost
 - dostopni časi do pomnilnika
 - zagotavljanje skladnosti pomnilnika

Arhitektura UMA (SMP)

- *angl.* Unified Memory Architecture
- *angl.* Symmetric Multi-Processor
- dostopni čas do kateregakoli dela pomnilnika je v povprečju enak za vsa procesorska jedra
- zagotavljanje skladnosti predpomnilnikov:
 - običajno pisanje skozi v kombinaciji z vohljanjem
 - ko zaznamo spremembo, posodobimo blok v predpomnilniku
 - pisanje nazaj je počasno, težave z raztegljivostjo

Arhitektura NUMA

- *angl.* Non-Unified Memory Architecture
- procesorska jedra so razdeljena v domene NUMA
- pomnilniški moduli so enakomerno razporejeni med domene NUMA
- dostopni časi do pomnilniških modulov so različni: krajši do pomnilniških modulov, neposredno povezanih na domeno, daljši do pomnilnikov bolj oddaljenih domen (časi so lahko do 3-krat daljši)
- zagotavljanje skladnosti predpomnilnikov:
 - imenik (direktorij, D) za vodenje stanja predpomnilniških blokov,
 - imeniški protokoli, na primer MESI (Modified, Exclusive, Shared, Invalid)
 - pisanje nazaj in razveljavljanje predpomnilnikov na drugih procesorskih jedrih
 - manj prenosov, večja prepustnost
- veliko boljša raztegljivost kot pri arhitekturi UMA
- pomembno je, da procesorska jedra iz izbrane domene čim več delajo s pomnilnikom, ki je neposredno povezan nanjo
- primer [AMD EPYC 7002](#)
 - 4 NUMA domene v katerih so procesorska jedra organizirana hierarhično
 - vsaka domena ima 2 silicijevi rezini in na vsaki rezini 2 procesorska kompleksa
 - vsak procesorski kompleks sestavljajo 4 procesorska jedra, ki si delijo predpomnilnik L3

Sistemi s porazdeljenim pomnilnikom

- sistem s skupnim pomnilnikom (vozlišče, strežnik) ima danes do 128 procesorskih jeder
- če potrebujemo večjo procesno moč, moramo povezati več vozlišč med seboj
- dobimo sistem s porazdeljenim pomnilnikom
- v sistemih s porazdeljenim pomnilnikom so vozlišča med seboj povezana z omrežjem
- pomnilnik je porazdeljen:
 - vsak procesor lahko neposredno dostopa samo do pomnilnika na svojem vozlišču
 - vsak pomnilnik ima svoj (ločen) naslovni prostor
- komunikacija med vozlišči običajno poteka z izmenjavo sporočil
- so bolj raztegljivi kot sistemi s skupnim pomnilnikom, komunikacija med procesorji je počasnejša
- danes je velik poudarek na razvoju omrežne opreme
- vrste sistemov s porazdeljenim pomnilnikom www.top500.org:
 - gruča
 - sestavljene so iz elementov, ki jih lahko kupimo na trgu
 - na vsakem vozlišču teče operacijski sistem
 - NSC, Trdina, Arnes, Vega

- masivno vzporedni procesorji
 - *angl.* Massively Parallel Processors
 - večja stopnja integracije
 - ena kopija (porazdeljenega) operacijskega sistema teče na vseh vozliščih
 - posebna omrežja
- ozvezdja
 - več procesorskih jeder na vozlišče kot je vozlišč

Pospeševalniki

- некоč matematični soprocesorji, danes grafične kartice
- danes imajo notranjo hierarhično pomnilniško strukturo in mnogo enostavnih procesnih elementov
- niso popolnoma samostojni
- razbremenjevanje glavnega procesorja
 - procesor prenese podatke iz glavnega pomnilnika v pomnilnik pospeševalnika
 - procesor sproži izvajanje obdelave
 - pospeševalnik izvede obdelavo in rezultate shrani v pomnilnik pospeševalnika
 - procesor prenese podatke nazaj v glavni pomnilnik
- množica preprostih procesnih elementov, vzporedno procesiranje na množici podatkov
- ozko grlo je prenos podatkov med gostiteljem in pospeševalnikom
- zaradi drugačne arhitekture je treba močno prilagoditi programe

Primer: moderna superračunalniška gruča

- mnogo vozlišč, zelo heterogen sistem
 - vozlišče je sistem s skupnim pomnilnikom
 - več vozlišč sestavlja porazdeljeni sistem, vozlišča med seboj komunicirajo z izmenjevanjem sporočil
 - pospeševalniki
- superračunalniška gruča
 - vozlišča: glavno, prijavno, računsko, podatkovno vozlišče
 - mrežne povezave: Ethernet, (Infiniband)
 - porazdeljeni datotečni sistem (vsa vozlišča vidijo programe in podatke)
 - dostop do prijavnega vozlišča preko protokola SSH