

Procesoarele de I/E Intel

BARUCH ZOLTAN

Procesoarele de I/E Intel sunt utilizate pentru serverele cu performanțe ridicate bazate pe procesoarele Pentium 4, Xeon și Itanium. În acest articol sunt prezentate principalele generații ale acestor procesoare de I/E.

Introducere

Procesoarele de I/E ale Intel sunt destinate în primul rând serverelor de înaltă performanță. Deși un procesor rapid este esențial pentru aplicațiile actuale, întregul potențial al acestuia nu poate fi exploatat dacă sistemul de I/E nu poate face față cerințelor procesorului gazdă. Procesoarele de I/E Intel au fost proiectate pentru a maximiza rata de transfer a operațiilor de I/E ale serverelor prin echilibrarea fluxului de date. Aceasta se realizează prin eliberarea procesorului principal de sarcina executării operațiilor de I/E și prin interceptarea întreruperilor generate de echipamentele periferice. În plus, procesoarele de I/E introduc o magistrală PCI (*Peripheral Component Interconnect*) secundară, izolată din punct de vedere electric de cea primară, care permite mutarea activității de I/E de pe magistrala primară PCI. Arhitecturile cu magistrale PCI duale au mai multe avantaje pentru servere:

- Reduc congestia de pe magistrala PCI primară;
- Permit utilizarea unor plăci de extensie suplimentare pe lângă cele 10 încărcări electrice (4-5 plăci de extensie) permise de specificațiile PCI;
- Permit transferurile de date direct între echipamente fără intervenția procesorului principal;
- Reduc costurile de dezvoltare printr-o integrare mai ridicată.

În subsistemele RAID (*Redundant Array of Independent Disks*), care utilizează discuri redundante pentru recuperarea datelor în caz de defecte, se poate utiliza un procesor de I/E pentru controlul tranzacțiilor paralele și a algoritmilor de compresie, în locul unui controler dedicat, cu un cost mai ridicat. Costul global al sistemului poate fi redus semnificativ dacă procesorul de I/E este plasat pe placa de bază.

Un alt domeniu pentru creșterea performanțelor serverelor îl reprezintă tehnologiile "peer-to-peer". Un exemplu este realizarea unei interfețe între unitatea de disc și rețeaua locală, care asigură o cale de date mai directă, fluxul de date fiind gestionat de procesorul de I/E, magistrala PCI primară fiind eliberată de acest trafic.

Prima generație a procesoarelor de I/E Intel a fost reprezentată de procesorul 8089, care era destinat sistemelor bazate pe procesorul 8086. Au urmat apoi procesoarele i960 Rx, 80303 (IOP303), 80310 (IOP310) și 80321 (IOP321). Acestea sunt descrise în continuare.

Procesoarele de I/E Intel i960

Primul procesor de I/E din familia i960 a fost i960 RP, care conținea o unitate centrală bazată pe procesorul 80960. Acesta a fost urmat de procesorul de I/E i960 RD, funcționând la o frecvență dublă față de i960 RP, de 66 MHz. Procesoarele i960 RM/RN au inclus noi unități hardware pentru accelerarea aplicațiilor RAID.

Procesoarele i960 Rx au fost primele care au inclus specificațiile I₂O (*Intelligent Input/Output*). Obiectivul principal al acestor specificații este de a pune la dispoziție o arhitectură a driverelor de I/E ale echipamentelor care este independentă atât de echipamentul controlat, cât și de sistemul de operare gazdă. Aceasta se realizează prin separarea logică a porțiunii driverului care este responsabilă cu gestionarea echipamentului de detaliile de implementare specifice ale sistemului de operare. Prin acesta, partea driverului care gestionează echipamentul devine portabilă pe mai multe sisteme de operare. De asemenea, specificațiile I₂O asigură independența de procesor și de tehnologia magistralei de I/E. Un alt rol al acestor specificații este de a facilita sistemele de I/E inteligente, prin suportul asigurat pentru transmiterea mesajelor între procesoare multiple independente. Fiecare

procesor i960 se livrează cu o licență pentru sistemul de operare în timp real IxWorks al firmei Wind River Systems. Acest sistem de operare reprezintă o implementare de referință a arhitecturii software I₂O.

Procesoarele de I/E i960 RM/RN permit o implementare eficientă a sistemelor de I/E inteligente bazate pe magistrala PCI și tehnologia I₂O, pentru servere conectate prin rețele *Ethernet* sau ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), servere RAID utilizând interfața SCSI (*Small Computer System Interface*), *Ultra-Wide SCSI* sau *Fibre Channel*. Procesoarele i960 RM/RN au fost îmbunătățite prin adăugarea unor unități suplimentare, cum sunt unitatea de accelerare a aplicațiilor și unitatea de monitorizare a performanțelor. Procesorul i960 RM utilizează o interfață PCI de 32 de biți, iar procesorul i960 RN utilizează o interfață PCI de 64 de biți.

Figura 1 prezintă schema bloc a procesoarelor de I/E Intel i960 RM/RN.

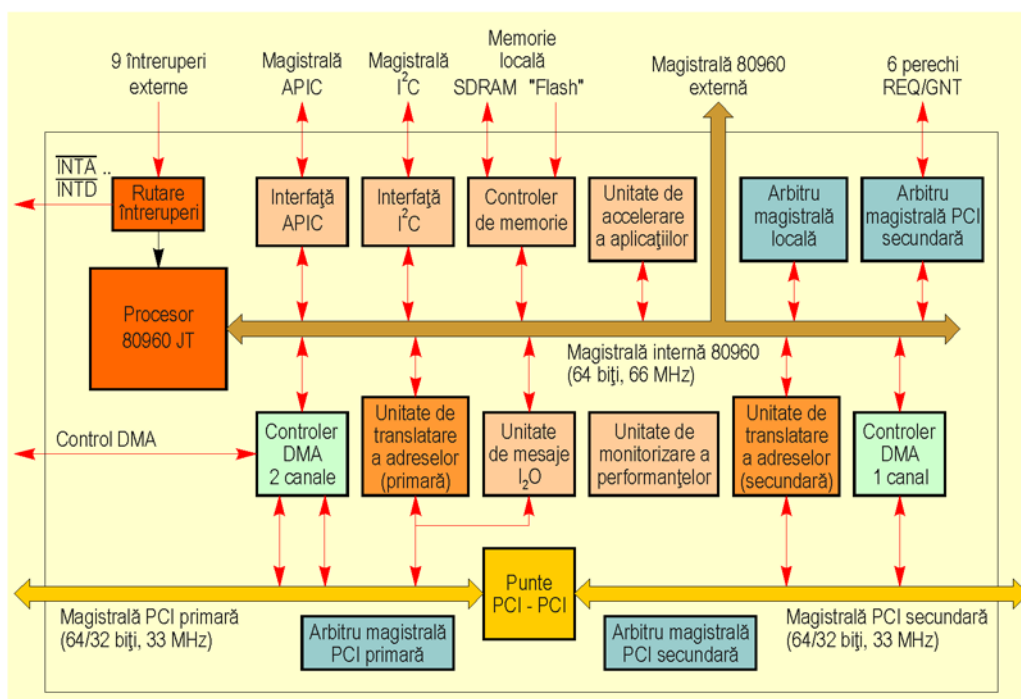


Figura 1. Schema bloc a procesoarelor de I/E Intel i960 RM/RN.

Procesorul 80960 JT

Acest procesor este o versiune îmbunătățită a procesorului 80960 JF utilizat în procesorul de I/E i960 RP, funcționând la o frecvență mărită de 100 MHz. Este un procesor RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) de 32 de biți care folosește tehnica *pipeline*. Cuprinde o memorie *cache* de instrucțiuni de 16 KB (față de 4 KB la procesorul i960 RP), fiind un set asociativ cu două căi, și o memorie *cache* de date de 4 KB (față de 2 KB) cu mapare directă.

Procesorul 80960 conține o unitate de execuție, o unitate de înmulțire-împărțire și o unitate de încărcare-memorare. Tehnica de redenumire a registrelor permite procesorului să execute anumite instrucțiuni în paralel sau într-o ordine diferită de cea din program. Setul de instrucțiuni cuprinde o implementare eficientă a instrucțiunilor de apel și de revenire pentru execuția procedurilor. Un program are acces la un set de 16 registre globale utilizate pentru transferul parametrilor și 16 registre locale. Se alocă un set unic de registre locale pentru fiecare nouă procedură, existând 8 seturi de registre locale.

Procesorul de I/E cuprinde o magistrală internă de 64 de biți, funcționând la frecvența de 66 MHz, conectată la procesorul 80960 printr-o unitate de interfață cu magistrala. Se utilizează buffere pentru citire, scriere și preîncărcarea instrucțiunilor, care asigură îmbunătățirea performanțelor.

Puntea PCI-PCI

Această punte asigură legătura între cele două magistrale PCI, permițând operații pe 64 de biți. Fiecare din cele două magistrale PCI funcționează la 33 MHz și poate fi programată independent pentru a funcționa în modul pe 32 de biți. Puntea PCI-PCI permite izolarea fizică a controlerelor SCSI sau de rețea față de magistrala PCI primară. Astfel, traficul de date dintre procesorul de I/E și un

controler de I/E nu afectează posibilitatea procesorului principal de a accesa alte echipamente pe magistrala PCI primară, crescând astfel rata efectivă de transfer a acestei magistrale.

Puntea PCI-PCI dispune de cinci buffere pentru tranzacțiile de pe magistrală, a căror dimensiune optimizează fluxul de date de I/E. Bufferul pentru scrierea în memorie este extins la 256 de octeți, care permite lansarea a până la opt tranzacții. Acestea sunt executate de punte în ordinea lansării lor. Puntea permite preluarea datelor de pe o magistrală PCI în timp ce datele sunt transferate simultan pe cealaltă magistrală. Există două buffere de câte 128 de octeți pentru citire, care permit două cereri simultane de citire.

Controlerele DMA

Procesorul de I/E i960 RM/RN cuprinde trei controlere DMA (*Direct Memory Access*) pentru accesul direct la memorie, care asigură două canale de comunicație între memoria locală și magistrala PCI primară, și un canal între memoria locală și magistrala PCI secundară. Aceste controlere permit citirea și scrierea în întregul spațiu de adrese PCI de 64 de biți.

Controlerele DMA primare (canalul 0 și 1) utilizează două cozi bidirecționale de câte 256 octeți, iar controlerul DMA secundar (canalul 2) utilizează o coadă bidirecțională de 64 octeți. Controlerele DMA permit o rată maximă de transfer de 528 MB/s și accesuri în mod exploziv pe magistrala memoriei locale.

Unitățile de traducere a adreselor

Există două unități de traducere a adreselor, care realizează legătura între fiecare din cele două magistrale PCI și magistrala internă a procesorului de I/E. Acestea asigură căi de date cu rate de transfer ridicate pentru conectarea la procesorul 80960 și la memoria locală. Unitățile conțin mai multe cozi pentru citire și scriere, care permit realizarea unor tranzacții simultane.

Unitatea de mesaje I₂O

Această unitate asigură un mecanism pentru transferul datelor între magistrala PCI primară și procesorul 80960, notificând unitatea centrală printr-o întrerupere la primirea unei noi date. Procesorul gazdă sau un agent PCI extern comunică prin transmiterea mesajelor și generarea întreruperilor cu procesorul 80960. Mesajele sunt transmise și recepționate de procesorul de I/E prin registre speciale de mesaje. Pentru transmiterea mesajelor se utilizează patru cozi circulare. Cozile sunt implementate în memoria locală, având o dimensiune programabilă între 16 KB și 256 KB. Unitatea de mesaje mai conține un set de registre index, care, atunci când sunt înscrise de un agent PCI extern, generează o întrerupere către procesorul 80960.

Unitatea de monitorizare a performanțelor

Această unitate permite utilizatorului să monitorizeze traficul de date pe magistralele PCI internă și externă. Unitatea este utilă pentru determinarea ratei de transfer a plăcilor de extensie care nu sunt de tip PCI și pentru monitorizarea utilizării segmentelor magistralei PCI. Punând la dispoziție informațiile despre performanțele operațiilor de I/E pentru un program de gestiune a sistemului, se pot optimiza performanțele prin modificarea dinamică a parametrilor de funcționare.

Unitatea de monitorizare constă dintr-un numărator pentru măsurarea timpului global, un registru de selecție a evenimentelor și 14 număratoare programabile de 32 de biți pentru monitorizarea a 14 evenimente la un moment dat, dintr-un număr de 98 de evenimente totale. Un exemplu de parametru este numărul ciclurilor inactive ale magistralei, care permite calcularea ratei de transfer și a eficienței.

Unitatea de rutare a întreruperilor

Procesorul de I/E i960 conține o unitate de rutare a întreruperilor, care permite procesorului 80960 să filtreze întreruperile PCI și să prelucreze în mod selectiv o întrerupere, sau să transmită întreruperea la procesorul gazdă. Este posibilă rutarea întreruperilor direct la liniile *INTA*, *INTB*, *INTC* sau *INTD* ale magistralei PCI fără utilizarea unor conexiuni externe. Întreruperile pot fi direcționate apoi prin program fie la procesorul gazdă, fie la procesorul 80960.

Procesorul 80960 permite generarea întreruperilor către procesorul gazdă prin două metode diferite. Pentru prima metodă, procesorul 80960 conține un port care permite generarea prin program a

unei întreruperi direct la oricare din pinii \overline{INTA} - \overline{INTD} . A doua metodă permite procesorului 80960 să genereze întreruperile direct către procesorul gazdă prin semnalele magistralei APIC.

Interfața APIC

Procesorul de I/E i960 conține un port pentru controlerul avansat de întreruperi APIC (*Advanced Programmable Interrupt Controller*). Interfața APIC utilizează pinii de întrerupere prin care dispozitivele de I/E generează întreruperi pe front sau pe nivel. Programul de emulare APIC utilizează portul APIC și magistrala APIC. Există o tabelă de redirectare a întreruperilor cu câte o intrare pentru fiecare pin de întrerupere. Fiecare intrare din această tabelă poate fi programată individual cu vectorul de întrerupere, prioritatea întreruperii și procesorul care trebuie să deservească întreruperea dintre toate procesoarele posibile. Programul de emulare APIC utilizează informațiile din tabelă pentru a transmite un mesaj către toate unitățile locale APIC.

Interfața I²C

Procesorul de I/E i960 conține o interfață pentru magistrala serială I²C (*Inter-Integrated Circuits*). Această magistrală, dezvoltată de firma Philips Semiconductor, conține două linii și permite funcționarea cu frecvențe de până la 400 KHz. Magistrala I²C permite procesorului i960 interfațarea cu alte periferice și controlere I²C pentru executarea unor funcții de gestiune a sistemului. Această magistrală definește un protocol serial pentru transmiterea informațiilor între dispozitivele conectate la magistrală utilizând doar două linii. O adresă unică de 7 biți identifică fiecare dispozitiv, care poate funcționa fie ca transmițător (*master*), fie ca receptor (*slave*). Dintre funcțiile care pot fi efectuate cu ajutorul unei magistrale I²C se amintesc: operarea de la distanță, monitorizarea temperaturii, monitorizarea sursei de alimentare, controlul afișajelor cu cristale lichide.

Procesorul de I/E i960 permite utilizarea ambelor viteze definite pentru magistrala I²C, 100 KHz sau 400 KHz. Procesorul furnizează ceasul pentru magistrala I²C prin divizarea semnalului de ceas cu un generator de frecvență programabil.

Controlerul de memorie

Controlerul de memorie permite utilizarea unei memorii locale SDRAM de 64 de biți, funcționând la o frecvență de 66 MHz, având o capacitate de până la 128 MB. Se utilizează coduri corectoare de erori (ECC - *Error Correcting Code*) pentru asigurarea integrității datelor. Acestea permit detecția erorilor de mai mulți biți și corecția erorilor de un singur bit. Este posibilă de asemenea utilizarea unor memorii de 32 de biți. Controlerul de memorie permite de asemenea utilizarea unei memorii EEPROM ("*flash*") de 8 biți de până la 16 MB.

Unitatea de accelerare a aplicațiilor

Unitatea de accelerare a aplicațiilor (UAA) crește viteza de prelucrare a procesorului de I/E. Această unitate permite transferuri la nivel de blocuri în cadrul memoriei locale. În plus, această unitate elimină necesitatea unor unități dedicate pentru calculul parității în aplicațiile RAID de nivel 3 și 5, permițând generarea directă a blocurilor de paritate. Unitatea citește datele din memoria locală a procesorului de I/E. Datele sunt depuse în buffere în timp ce unitatea citește următoarea secțiune de date. La citirea următoarei secțiuni, UAA execută o operație SAU EXCLUSIV cu prima secțiune de date și memorează rezultatul. Acest proces continuă până când a fost citit fiecare bloc din matricea de discuri, după care rezultatul final este scris în memoria locală. UAA permite un control individual asupra a opt blocuri de date sursă.

Arbitrii de magistrală

Procesorul de I/E i960 dispune de patru unități pentru arbitrajul magistrelor. Există un arbitru al magistralei locale, un arbitru al magistralei PCI secundare pentru dispozitive externe conectate la această magistrală, un arbitru al magistralei PCI primare pentru dispozitive interne și un arbitru al magistralei PCI secundare pentru dispozitive interne.

Procesorul de I/E Intel 80303

Procesorul 80303 (IOP303) reprezintă a treia generație a procesoarelor de I/E Intel. Acest procesor îmbunătățește performanțele de I/E ale serverelor performante bazate pe procesoarele Intel

Xeon și Itanium. Dintre îmbunătățirile aduse acestui procesor, prin care se obține o creștere estimată a performanțelor de 25% față de procesoarele de I/E din generația anterioară, cele mai importante sunt descrise în continuare.

Magistrala internă funcționează la frecvența de 100 MHz, cu o rată de transfer maximă de 800 MB/s. Magistralele PCI funcționează la frecvența de 66 MHz, deci dublă față de cea a procesoarelor i960, rata de transfer maximă ajungând la 528 MB/s. Puntea PCI-PCI integrată funcționează de asemenea la 66 MHz, conform versiunii 2.2 a specificațiilor PCI. Această punte este compatibilă cu magistrala PCI funcționând la frecvența de 33 MHz. Ambele magistrale PCI pot funcționa și la 33 MHz (din motive de încărcare a acestora), sau magistrala PCI primară poate funcționa la 66 MHz, iar cea secundară la 33 MHz (pentru compatibilitate cu unele echipamente). Proiectantul de sistem poate decide configurația optimă pentru aplicațiile rulate.

Controlerul de memorie permite utilizarea memoriilor SDRAM de 100 MHz. Dimensiunea memoriei SDRAM poate fi de până la 512 MB, ceea ce reprezintă o creștere de patru ori față de memoria maximă permisă de procesoarele din generația anterioară. Dimensiunea memoriei utilizate de unitatea de accelerare a aplicațiilor a fost mărită la 1 KB, aceasta fiind programabilă la 512 B sau 1 KB.

Procesorul 80303 conține în plus 8 pini de I/E cu utilizare generală GPIO (*General-Purpose Input/Output*). Alte facilități sunt 6 semnale de ceas pentru magistrala PCI secundară și 4 semnale de ceas pentru memoria SDRAM. Acestea permit reducerea numărului de circuite necesare într-un sistem, reducând costurile.

Procesorul de I/E Intel IOP310

Generația a patra de procesoare de I/E Intel este reprezentată de procesorul de I/E IOP310 (80310). Acesta este un set de două circuite, format din procesorul 80200 și circuitul de I/E 80312. Acest set de circuite are performanțe mai ridicate față de procesoarele de I/E anterioare, datorită frecvenței mai ridicate a procesorului 80200 și arhitecturii mai evoluate a acestuia. Figura 2 prezintă schema bloc a setului de circuite IOP310, punându-se în evidență legătura dintre procesorul 80200 și circuitul de I/E 80312.

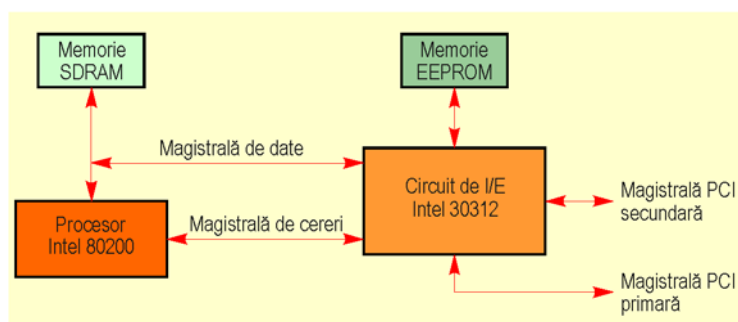


Figura 2. Schema bloc a setului de circuite Intel IOP310.

Procesorul 80200 este primul procesor de I/E care se bazează pe noua microarhitectură Intel *XScale*. Această microarhitectură permite creșterea semnificativă a performanțelor de procesare față de arhitecturile anterioare ale Intel, având în același timp o putere consumată redusă. Această putere consumată redusă este importantă în mediile în care dispozitivele sunt plasate în sertare apropiate unele de altele și unde căldura disipată reprezintă o problemă critică.

Microarhitectura *XScale* se bazează pe setul de instrucțiuni al procesorului ARM cu versiunea 5TE (excepționând setul de instrucțiuni în virgulă mobilă) și păstrează compatibilitatea cu arhitecturile Intel StrongARM (SA-110) și ARM (*Advanced RISC Machine*) care au stat la baza generației inițiale a procesoarelor de rețea ale Intel. Principalele caracteristici ale microarhitecturii *XScale* sunt următoarele:

- Se bazează pe tehnologia RISC *superpipeline*, cu 7 etaje pentru prelucrarea numerelor întregi și 8 etaje pentru accesul la memorie.
- Utilizează o tehnologie de gestiune dinamică a tensiunii (*Dynamic Voltage Management*), care permite ajustarea dinamică a tensiunii de alimentare și a frecvenței, în funcție de performanțele și puterea consumată necesare pentru fiecare aplicație.

- Utilizează o tehnologie multimedia (*Media Processing Technology*), cuprinzând un coprocesor care poate executa două operații simultane de înmulțire de 16 biți cu acumularea rezultatelor pe 40 de biți.

Procesoarele de I/E bazate pe microarhitectura *XScale* reprezintă componente ale arhitecturii *Internet Exchange* a Intel, destinată infrastructurii Internet și aplicațiilor care necesită memorii de masă. Acestea cuprind platforme pentru Internet, platforme pentru aplicații mobile și fără fir, telefoane 3G, rețele pentru memorii de masă, cum sunt *Fibre Channel*, SAN (*Storage Area Network*) și NAS (*Network Attached Storage*). Arhitectura *Internet Exchange* mai cuprinde controlere RAID, procesoare de rețea din familia IXP1200, comutatoare pentru rețele ATM și *Gigabit Ethernet*, interfețe fizice pentru rețele, medii de dezvoltare software.

Procesorul 80200 este disponibil la trei frecvențe de funcționare: 400 MHz, 600 MHz și 733 MHz. Datorită tehnologiei RISC *superpipeline*, puterea consumată este redusă. Dimensiunea memoriilor *cache* de instrucțiuni și de date este de 32 KB. Procesorul conține și o mini-memorie *cache* de date cu dimensiunea de 2 KB pentru a evita golirea memoriei *cache* de date în cazul șirurilor de date care se modifică frecvent. Viteza mai ridicată și dimensiunea mai mare a memoriilor *cache* permite implementarea aplicațiilor care necesită calcule intensive, cum sunt cele de codificare și decodificare audio sau de compresie și decompresie video.

Circuitul de I/E 80312 conține o punte PCI-PCI care funcționează la 66 MHz, ca și la procesorul de I/E 80303. Frecvența magistralei interne este de 100 MHz. Dimensiunea maximă a memoriei SDRAM, care funcționează la 100 MHz, este de 512 MB. Structura circuitului 80312 este similară cu cea a procesorului de I/E i960 RM/RN.

Procesorul de I/E Intel IOP321

La ora actuală, procesorul de I/E IOP321 (80321) este ultimul din seria de procesoare de I/E Intel și reprezintă generația a cincea a acestor procesoare. IOP321 este un procesor într-o singură capsulă, fiind destinat serverelor bazate pe procesoarele Intel Pentium 4, Xeon și Itanium. IOP321 conține o interfață pentru magistrala PCI-X funcționând la 133 MHz, 100 MHz sau 66 MHz. La 133 MHz, rata de transfer maximă este de 1 GB/s, care este dublă față de cea a versiunii 2.2 a magistralei PCI la 66 MHz. Magistrala internă de 64 de biți funcționează la 200 MHz, având o rată de transfer maximă de 1,6 GB/s.

IOP321 este de asemenea bazat pe microarhitectura Intel XScale, fiind disponibil la frecvențele de 400 MHz și 600 MHz. Este compatibil la nivel de instrucțiuni cu setul de circuite IOP310 și cu procesorul Intel StrongARM. Dimensiunea memoriilor *cache* este aceeași ca și la procesorul 80200. IOP321 permite interfațarea cu diferite tehnologii de interconectare, cum sunt SCSI, *Fibre Channel*, *Serial ATA* și *Gigabit Ethernet*.

Schema bloc a procesorului de I/E IOP321 este prezentată în Figura 3. O parte din componente se regăsesc și la procesoarele de I/E anterioare. În continuare sunt descrise pe scurt componentele specifice procesorului IOP321.

Controlerul de memorie permite conectarea unei memorii DDR (*Double Data Rate*) SDRAM funcționând la 200 MHz. Dimensiunea maximă a memoriei DDR este de până la 1 GB pentru memoriile de 64 de biți și de până la 512 MB pentru memoriile de 32 de biți. Acest controler permite utilizarea unui cod corector de erori ECC pentru corecția erorilor de un singur bit și pentru detecția erorilor de mai mulți biți.

Unitatea de interfață cu magistrala pentru periferice PBI (*Peripheral Bus Interface*) permite comunicația cu perifericele care nu sunt conectate la magistrala PCI sau nu au o interfață cu această magistrală, cum sunt memoriile EEPROM, circuite ASIC (*Application Specific Integrated Circuit*) sau procesoare de semnal. Dimensiunea acestei magistrale este programabilă la 8, 16 sau 32 de biți, iar frecvența de funcționare este programabilă la 33 MHz, 66 MHz sau 100 MHz.

Unitatea pentru portul serial sincron SSP (*Serial Synchronous Port*) este o interfață serială duplex. Această interfață permite conectarea unor circuite externe, cum sunt convertoare analog-digitale, circuite codec audio și de telecomunicații, ca și a altor circuite care utilizează transferuri seriale. Interfața permite utilizarea protocolului *Microwire* a firmei National Semiconductor, a protocolului SPI (*Serial Peripheral Interface*) a firmei Motorola și a protocolului serial al firmei Texas Instruments. Interfața SSP poate fi configurată pentru a funcționa ca interfața I²C a firmei Philips Semiconductor.

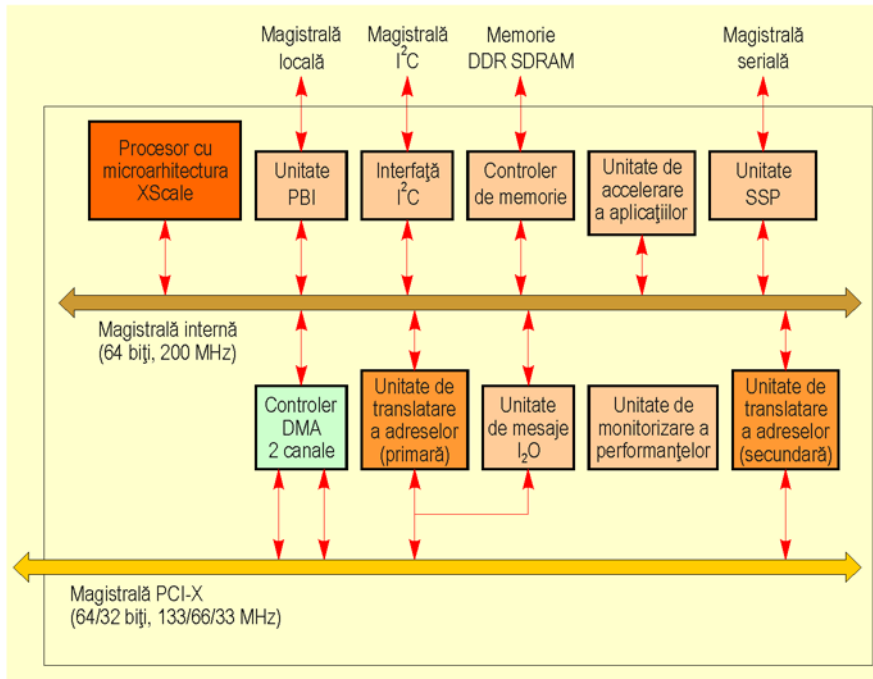


Figura 3. Schema bloc a procesorului de I/E Intel IOP321.

Concluzii

Procesoarele de I/E Intel din ultimele generații (IOP310 și IOP321) permit creșterea semnificativă a performanțelor globale ale sistemelor. Aceste procesoare, care au la bază noua microarhitectură XScale a Intel, se utilizează în cadrul serverelor performante bazate pe procesoarele Intel Pentium 4, Xeon și Itanium. Ultimul procesor de I/E Intel, IOP321, pune la dispoziție o interfață cu magistrala PCI-X funcționând la 133 MHz, o interfață cu memoria DDR SDRAM la 200 MHz și o interfață cu o magistrală pentru periferice. Magistrala internă de 64 de biți funcționează la 200 MHz. Procesorul de I/E Intel IOP321 permite interfațarea cu diferite tehnologii performante de interconectare, ca SCSI, *Fibre Channel*, *Serial ATA* și *Gigabit Ethernet*.