

Savarankiškai išnagrinėtų kompiuterių architektūrų palyginimas

TMS320C28x vs. W65C816S

Karina Babenskaitė

ELEMENTINĖ BAZĖ

Elementinė bazė

Abu procesoriai buvo gaminami naudojant CMOS technologiją. Jų elementinę bazę sudaro labai didelio integracijos masto (VLSI) integriniai grandynai (IC). Tai yra modernūs monokristaliniai procesoriai.

<https://en.wikipedia.org/wiki/TMS320>

<https://www.westerndesigncenter.com/wdc/documentation/w65c816s.pdf> 5

https://en.wikipedia.org/wiki/WDC_65C816

Fizinės įrangos savybės

TMS320C28x šeimos procesoriai yra 144 mm² (NFBGA) arba 289 mm² (PBGA) dydžio.

<https://www.ti.com/sitesearch/en-us/docs/universalsearch.tsp?langPref=en-US&nr=29&searchTerm=TMS320C28#q=TMS320C28>

W65C816S procesoriaus dydis priklausė nuo paketo tipo – 232,3 mm² (44-Pin PLCC), 724,8 mm² (40-Pin PDIP), 100 mm² (44-Pin QFP).

44-Pin PLCC - <https://www.controlchips.com/plc44dim.htm>

40-Pin PDIP - <https://www.controlchips.com/dip40dim.htm>

44-Pin QFP - <https://www.controlchips.com/qfp44dim.htm>

<https://datasheets.chipdb.org/Western%20Design/w65c816s.pdf?utm> 13-15

Energijos suvartojimas

Remiantis TMS320C2834x modelių specifikacija

(https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320c28346.pdf?ts=1765144615375&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTMS320C28346 31) energijos suvartojimas

normaliomis sąlygomis 25°C temperatūroje 300 MHz dažniu - maždaug 290 mA. W65C816S sunaudoja mažiau energijos – veikdamas 1 MHz dažniu vartoja tik 0,3 mA srovės

(<https://datasheets.chipdb.org/Western%20Design/w65c816s.pdf?utm> 7).

ARCHITEKTŪROS TIPAS

Originalus TMS32010 ir vėlesni jo variantai yra modifikuotos Harvardo architektūros procesoriaus, turinčio atskiras adresų erdves instrukcijoms ir duomenų atminčiai, tačiau galinčio skaityti duomenų reikšmes iš instrukcijų atminties, pavyzdys

(<https://en.wikipedia.org/wiki/TMS320>). W65C816S turi kitokią – akumulatorinio tipo architektūrą. Visos šio procesoriaus aritmetinės ir loginės operacijos vykdomos per vieną registrą – akumuliatorių A (<https://datasheets.chipdb.org/Western%20Design/w65c816s.pdf?8>).

ADRESAI

TMS320C28x nėra beadresinė mašina, dauguma bazinių instukcijų naudoja du adresus (https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F 107). W65C816S yra vieno adreso procesorius, tai matosi iš adresavimo režimų lentelės, kur kiekviena instrukcija turi tik vieną operandą, kitas operandas yra implicitinis akumulatorius A (<https://www.westerndesigncenter.com/wdc/documentation/w65c816s.pdf> 47).

REGISTRAI - TMS320C28x

Ši architektūra turi 34 pagrindinius pasiekiamus registus.

Registro pavadinimas	Duomenų plotis	Paskirtis
ACC	32 bitai	Pagrindinis įrenginio darbinis registras.
AH	16 bitų	Aukščiausia ACC pusė.
AL	16 bitų	Žemiausia ACC pusė.
XAR0	32 bitai	Pagalbinis registras. Gali būti naudojamas kaip bendros paskirties arba kaip rodyklė į atmintį.
XAR1	32 bitai	Pagalbinis registras. Gali būti naudojamas kaip bendros paskirties arba kaip rodyklė į atmintį.
XAR2	32 bitai	Pagalbinis registras. Gali būti naudojamas kaip bendros paskirties arba kaip rodyklė į atmintį.
...
XAR7	32 bitai	Pagalbinis registras. Gali būti naudojamas kaip bendros paskirties arba kaip rodyklė į atmintį.
AR0	16 bitų	Žemiausia XAR0 pusė (bendros paskirties).
AR1	16 bitų	Žemiausia XAR1 pusė (bendros paskirties).
AR2	16 bitų	Žemiausia XAR2 pusė (bendros paskirties).
...
AR7	16 bitų	Žemiausia XAR7 pusė (bendros paskirties).
DP	16 bitų	Duomenų puslapio rodyklė.
IFR	16 bitų	Pertraukimų žymių registras.
IER	16 bitų	Pertraukimų įjungimo registras.
DBGIER	16 bitų	Derinimo pertraukimų įjungimo registras.
P	32 bitai	Sandaugos registras. Saugo 32 bitų daugybos rezultata.
PH	16 bitų	Aukščiausia P pusė.
PL	16 bitų	Žemiausia P pusė.
PC	22 bitai	Programos skaitiklis. Rodo į instrukciją, kuri yra vykdoma.
RPC	22 bitai	Grįžimo programos skaitiklis. Rodo, kur grįžti po instrukcijos vykdymo.
SP	16 bitų	Steko rodyklė. Leidžia naudoti programinės įrangos steką duomenų atmintyje.
ST0	16 bitų	Būsenos registras 0.
ST1	16 bitų	Būsenos registras 1.
XT	32 bitai	Dauginamojo (multiplicand) registras. Naudojamas 32 bitų sveikąjo skaičiaus su ženklu vertei saugoti prieš 32 bitų daugybos operaciją.
T	16 bitų	Aukščiausia XT pusė.
TL	16 bitų	Žemiausia XT pusė.

Iš viso architektūra turi 16 pasiekiamų bendros paskirties registrų.

*23 puslapyje lentelėje parašyta, kad XAR0 turi 16 bitų duomenų dydį, tačiau platesniame registrų aprašyme 28 puslapyje 2.2.6 Auxiliary Registers (XAR0-XAR7, AR0-AR7) parašyta, kad architektūra turi aštuonis 32 bitų registrus. Tai, kad XAR0 iš tiesų turi 32 bitus nurodo ir „TMS320C28x Extended Instruction Sets” 16 puslapyje.

https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F

https://www.ti.com/lit/ug/spruhs1c/spruhs1c.pdf?ts=1765143544113&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F

POŽYMIŲ BITAI - TMS320C28x

Pagrindiniai TMS320C28x požymių bitai V (Overflow), N (Negative), Z (Zero), C (Carry), TC (Test/Control) saugomi ST0 registre. Papildomi požymių bitai (pavyzdžiui ARP, XF, IDLESTAT) saugomi ST1 ir IFR registruose.

(https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F#page=29&zoom=100,0,778 30-43)

DUOMENŲ PLOTIS - TMS320C28x

TMS320C28x architektūros vienas mašininis žodis lygus 16 bitų.

(https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F 16)

ATMINTIES IŠDĖSTYMAS – TMS320C28x

TMS320C28x architektūroje atmintis buvo segmentuota. 22 bitų programos ir 32 bitų duomenų erdvės

(https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F 16) buvo atskiros. Vidinė (On-Chip) atmintis suskirstyta į

funkcinius segmentus (RAM, SARAM, Peripheral frames, 128-Bit Password, Boot ROM ir BROM Vector ROM, bei rezervuoti laukai). Papildomai adresų erdvėje galėjo būti prijungta išorinė atmintis per XINTF.

(https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320c28346.pdf?ts=1765144615375&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTMS320C28346 131)

Maksimalus įmanomas atminties kiekis programos erdvėje – 4M žodžių, duomenų erdvėje – 4G žodžių

(https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F

[52F%252Fwww.google.com%252F](https://www.google.com/) 16). Tipiškai TMS320C28x sistemos naudojo tik dalį vidinės atminties, priklausomai nuo programos dydžio.

VIRTUALIOJI ATMINTIS – TMS320C28x

TMS320C28x nepalaiko virtualios atminties, nes visi adresai yra tiesioginiai, segmentuoti į programos ir duomenų erdves. Procesorius neturi MMU ar puslapiavimo mechanizmo.

KOMANDŲ SISTEMA - TMS320C28x

TMS320C28x turi 157 unikalias mašinos komandas (chatgpt.com „Pateik sąrašą unikalių TMS320C28x instrukcijų iš duoto sąrašo

(https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F 107) 2025-12-08 2:15“). Jos gali būti skirstomos į tokias pagrindines klases: loginės ir aritmetinės, daugybos ir kaupimo, poslinkiai ir sukimai, šakos, steko, programos ir duomenų perkėlimo, būsenos, pertraukimų ir specialios). Komandų formatas: šaltinio operandai visada dešinėje, o paskirties – kairėje (<https://www.ti.com/lit/ug/sprueo2b/sprueo2b.pdf?ts=1765115612920> 32).

Komandų pavyzdžiai

Klasė	Komandos pavyzdys	Funkcija
Aritmetinė	ADD AX, loc16	Pridėti reikšmę prie AX.
Daugybos ir kaupimo	MAC P,loc16,0:pma	Dauginti ir kaupti.
Poslinkio	LSL ACC,#1..16	Loginis poslinkis į kairę.
Šakos	B 16bitOffset,COND	Jei sąlyga patenkinama, pridėti šaką.
Steko	POP ACC	Ištraukia viršutinę steko reikšmę ir įrašo ją į akumuliatorių.
Duomenų perkėlimo	MOV *(0:16bit), loc16	Perkelia reikšmę.
Būsenos	SETC Mode	Nustato nurodytus būsenos bitus.
Pertraukimų	IACK #16bit	Pertraukimo patvirtinimas.
Speciali	SQRA loc16	Kelia kvadratu nurodytą 16 bitų reikšmę ir prideda rezultatą prie P registro, įrašydama į ACC registrą.

(https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F 107-113)

ADRESAVIMO BŪDAI - TMS320C28x

TMS320C28x palaikė keturis pagrindinius adresavimo būdus: tiesioginis (DP), steko (SP), netiesioginis (XAR0 – XAR7), registrų

(https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F 80).

I/O GALIMYBĖS - TMS320C28x

TMS320C2834x atveju architektūra palaiko šias I/O galimybes: kelių kanalų tiesioginės atminties prieigos (DMA) modulį, 32 bitų CPU laikmačius, PWM, eCAP ir eQEP modulius, analoginių jėgimų sąsają (ADC), du eCAN modulius, SCI, SPI, I2C ir McBSP serijines sąsajas, skaitmeninę įvestį ar išvestį (GPIO) bei išorinę sąsają (XINTF).

(https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320c28346.pdf?ts=1765144615375&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTMS320C28346 92)

PERTRAUKIMŲ MECHANIZMAI - TMS320C28x

TMS320C28x palaiko tiek programų inicijuojamus (NTR, OR IFR, TRAP) tik aparattinius (pin'ų, vidinių ar išorinių periferijų) pertraukimus. Aparattiniai pertraukimai, kurie buvo suaktyvinti tuo pačiu metu, tvarkomi pagal nustatytą prioritetų sistemą. Kai kuriuose įrenginiuose naudojamas **periferijų pertraukimo išplėtimo (PIE) modulis**, kuris sujungia kelių periferijų pertraukimus į vieną CPU pertraukimo liniją. Pertraukimas skirstomi į dvi kategorijas: maskuojami (gali būti užblokuoti arba įjungti per programinę įrangą) ir nemaskuojami (negali būti užblokuoti, C28x juos nedelsiant apdoroja). Pertraukimų tvarkymas vyksta keturiais etapais – pertraukimo užklauso gavimas, užklauso patvirtinimas, ISR paruošimas ir registų reikšmių išsaugojimas, pertraukimo vykdymas.

(https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F 53)

DUOMENŲ TIPAI - TMS320C28x

TMS320C28x palaikė fiksuoto kablelio aritmetiką su 16 ir 32 bitų skaičiais, koduotais dvejetainio papildinio formatu. Mašina taip pat palaikė trupmeninius formatus DSP operacijoms ir 64 bitų rezultatus daugybos operacijose. TMS320C28x galėjo atlikti operacijas su kompleksiniais skaičiais. Slankiojo kablelio ir dešimtinių skaičių tipų architektūra aparatūros lygij nepalaiko.

(https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F 23 ir

https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F 107-113).

GREITAVEIKA - TMS320C28x

kainos ir našumo santykis

TMS320C2834x modelių dokumentacijoje aprašyti taktinių generatorių dažniai:

- XCLKIN - nuo 2 iki 150 MHz.

- X1 - nuo 2 iki 100 MHz.
- SYSCLKOUT – nuo 2 iki 200 MHz.
- On-chip oscillator clock – nuo 8 iki 30 MHz.
- XCLKOUT – nuo 0,5 iki 75 MHz.
- HSPCLK/EXTADCCLK – 40 MHz.
- LSPCLK – 100 MHz.

(https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320c28346.pdf?ts=1765144615375&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTMS320C28346 39)

Pagal pateiktą instrukcijų rinkinį instrukcijos užtrukdavo mažiausiai 1 ciklą, vidutiniškai 2-5 ciklus, daugiausiai 8, $N + 5$, $N + 2$ ar $N + 1$ ciklus. Esant 300 MHz sistemos taktui, kai dauguma instrukcijų užtrunka 2-5 ciklus, vidutinė procesoriaus greیتaveika – maždaug 60-150 MIPS.

SPARTINANTI ATMINTIS - TMS320C28x

TMS320C28x nenaudojo spartinančios atminties.

ARCHITEKTŪRŲ TAIKYMO SRITYS - TMS320C28x

TMS320C2834x dokumentacijoje aprašyti taikymai pramoniniuose kintamosios srovės inverteriuose, pramoniniuose servo stiprintuvuose ir valdikliuose, CNC apdirbimo mašinose, nenutrūkstanto maitinimo šaltiniuose ir serverių maitinimo sistemose bei saulės energijos inverteriuose.

TMS320C28x architektūra plačiai naudojama saulės energijos inverteriuose, nes leidžia realiuoju laiku valdyti energijos konversiją iš kintančio DC į stabilų AC signalą. Procesorius vykdo greitas DSP operacijas, tokias kaip MPPT (maksimalaus galios taško sekimas) ir PWM moduliaciją, užtikrinančią maksimalų energijos panaudojimą iš saulės modulių ir aukštą inverterio efektyvumą. Dėl tikslų skaitmeninių valdymo algoritmų ir mažų vėlinčiųjų C28x ypač tinka aukšto našumo, patikimiems saulės energijos keitikliams. (www.chatgpt.com „Trumpai pateik informaciją apie konkretų TMS320C28x taikymą saulės inverteriuose. 2025-12-08 18:14“)

PROGRAMINĖ ĮRANGA - TMS320C28x

Kiek programinės įrangos buvo parašyta kiekvienai aptariamai architektūrai, ar ji (vis dar) prieinama, kur ji buvo naudojama? Kokie buvo prieinami kompiliatoriai ir programavimo įrankiai (derintojai, profiliuotojai, surinkėjai)? Kokios programinės įrangos bibliotekos buvo prieinamos?

TMS320C28x sukurta programinės įrangos paketai: C2000Ware, DesignDRIVE ir powerSUITE. Visi jie yra pasiekiami oficialiame Texas Instruments gamintojo puslapyje. Šios programinės priemonės naudojamos pramoniniuose inverteriuose, servo pavarose, robotikoje, CNC įrangoje, UPS ir saulės inverteriuose. Programavimui naudojama Code Composer Studio IDE, kuri apima C/C++ kompiliatorių, derintuvą, profilerį ir projektų kūrimo įrankius. Be to, įrenginiai palaiko programavimą naudojant C2000 Gang Programmer.

(<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320c28341.pdf?ts=1765204916614> 155 ir

<https://www.ti.com/>).

TMS320C28x:

https://www.ti.com/lit/ug/spru430f/spru430f.pdf?ts=1765134513658&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F

[https://software-](https://software-dl.ti.com/trainingTTO/trainingTTO_public_sw/c28x2808/C28x%20Workshop.pdf)

[dl.ti.com/trainingTTO/trainingTTO_public_sw/c28x2808/C28x%20Workshop.pdf](https://software-dl.ti.com/trainingTTO/trainingTTO_public_sw/c28x2808/C28x%20Workshop.pdf)

W65C816S:

<https://www.westerndesigncenter.com/wdc/documentation/w65c816s.pdf>