

SUPERKONPUTAGAILUAK

istorio luze-luze bat





INFORMATIKA
FAKULTATEA
FACULTAD
DE INFORMÁTICA

Superkonputagailuak: zer diren eta nola funtzionatzen duten.

www.ehu.eus/informatika

■ ■ Kontu kontari... kontulari...

Ez dakigu noiztik kontatzen dugun, baina hasiera-hasieratik seguru. Eta hala jarraitzen dugu, kontatzen. Gizakiaren oinarrizko ezaugarria dirudi. Kuriosoa hala ere, hitz bera erabiltzen baitugu lehen begi-kolpean oso desberdinak ematen dituzten bi gauzetarako. Hala dio hiztegiak *kontatu* hitzari buruz:

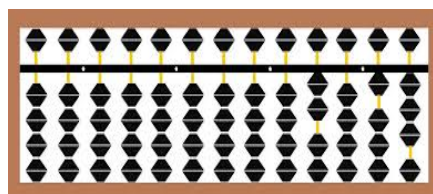
(lat. *computāre*)

1. Besteri, ahoz nahiz izkribuz, gertatu edo asmatu den zerbait esan edo aditzera eman. *Ipuin lohiak kontatzen.*
2. Multzo bateko osagaien kopurua mugatu. *Ardiak kontatzen ez daki.*

Bai, **kontaketak** eta **kontakizunak** hitz berean. Istorioak kontatzen ditugu, eta ardiak kontatu ere. Letrak eta zenbakiak zaku berean. Kontatu, gogoratzeko. Eta gogoratzeko hasi ginen idazten. Hasieratik bertatik sortu zen beharra, kontatzen genituen istorioak eta kantuak idazteko, egiten genituen kontuak idazteko.

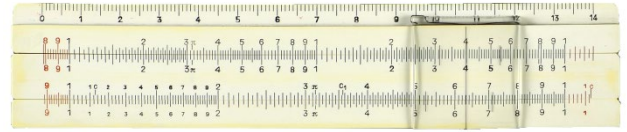
Kontutxoak eta kontaketak batera. Sumer-etik heldu zaizkigu, 4.000 urte baino gehiago igaro eta gero, lehen idazkunak, eta hor daude istorioak —Gilgamesh— eta zenbakiak —ale eta olio-ekoizpenak, eskaintzak tenpluetan—. Eta horrela gaur arte.

Eta bidean, kalkulatzeko "makinak" asmatu genituen. Sinpleak, oso sinpleak hasieran (kontatzeko aleak, harri koxkorak), baina gero eta sofistikatuagoak ondoren. Eta ikusgarriak, ia sinesgaitzak gaur. Kontaketa-makina zaharren artean, abakoa da segur asko ezagunena, oraindik munduko hainbat lekutan erabiltzen baita. Oso sinpleak dira forman, baina oso erabilgarriak oinarrizko eragiketa aritmetikoak azkar eta doitasunez egiteko.

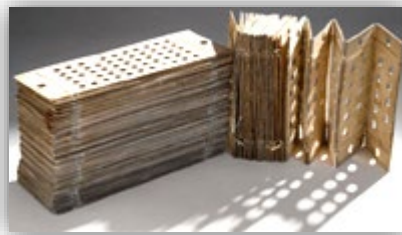


Abako modernoa

Mendebaldeko industria-iraultzaren eta gailu mekanikoen garapenarekin batera, kalkulu-makina sofistikatuagoak sortu ziren. Batetik, 200 urte baino gehiagotan, ia atzo arte, erabili diren kalkulu-tresna analogiko arrakastatsuenak: kalkulu-erregelak, hau da, taula logaritmikoak erregeleta moduan antolatuta, bata besteekiko desplazatzen baitira eragiketak egiteko. Eta bestetik, konputagailu mekanikoak egiteko lehen proposamenak: Charles Babbage-ren, eta Ada Lovelace-ren, makina diferentzial eta analitikoak, non lehenengoz agertu baitziren konputagailu modernoek ezaugarri behinenak, txartel zulatuak eta guzti.



Babbage-ren makina analitikoa (1834)



Ada Lovelace

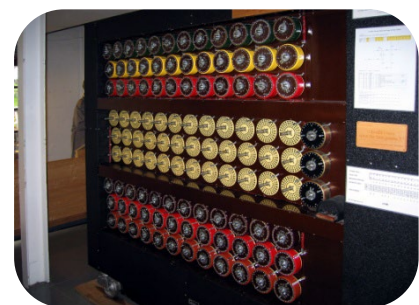
Alan Turing-en eskutik helduko da, bigarren mundu-gerran, gaurko konputagailuen aitzindari elektromekaniko sofistikatuena, Bombe, Enigma makinarekin Alemaniako armadak sortzen zituen kode sekretuak haustea lortu zuena.



Alan Turing

Baina gaurko konputagailuen aroa gailu elektronikoen garapenarekin hasiko da. Aurrenetako bat ENIAC konputagailua izan zen. Makina gero eta konplexuagoak eta ahaltsuagoak sortzeko lasterketa zorabigarriaren abiapuntua izan zen. Hortik sortu ziren lehenbiziko makina komertzialak (UNIVAC), gero IBM, XEROX, DIGITAL... etxeen eskutik plazaratu ziren makinak, eta horrela, eten gabe, gaurko superkonputagailuak arte.

Bombe (birsortua)





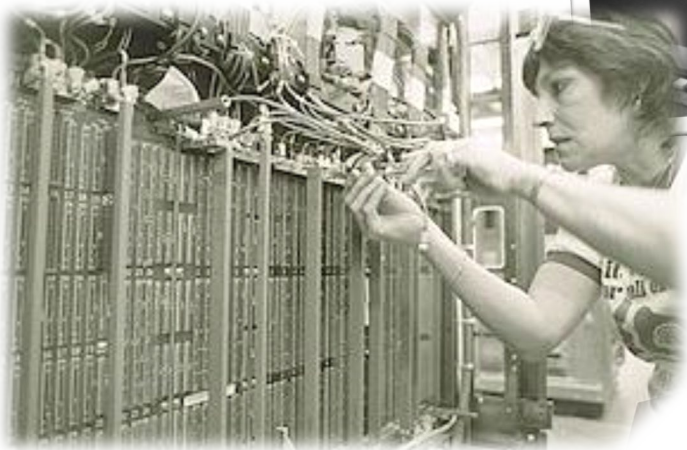
ENIAC (1946)



UNIVAC (1951)



IBM 360 (1964)



VAX (1977)

Pasa den mendeko 70etan edo hasi zen mikroelektronikaren eta zirkuitu integratuen garapenak beste bultzada bat eman zion lasterketa horri. Hor sortu ziren lehenbiziko kalkulagailuak eta, ondoren, ordenagailu pertsonalak eta eramangarriak,

Macintosh ordenagailu pertsonala (1984)



dagoeneko denontzat tresna arrunt bilakatu direnak.



HP-35 kalkulagailua

Eta hortik aurrera, gaur arte, zoroa izan da lasterketa. Konputagailuen eboluzioa analizatzen duen Moore-ren legearen arabera, makina hauen konputazio-ahalmena

bikoiztu egiten da, gutxi gora behera, bi urtetan behin. Hazkunde esponentzialeko lege hori bete da azken 40 urtetan, baina ematen du azkenetan dagoela. Ondo dakigu ez dagoela ezer mugarik gabe esponentzialki haz daitekeenik; izan ere, gaurko teknologiaren mugetara hurbiltzen ari gara, oso azkar hurbildu ere.



Gaurko ordenagailu eramangarria

Baina, zer da **superkonputagailu** bat? Superkonputagailu bat makina bat da non milaka prozesadore (edo kalkulu-nukleo) konektatuta baitaude abiadura handiko konexio-sare batez, denen artean problema konplexuak ebazteko.

2023ko ekainean, munduko superkonputagailurik azkarrena Cray etxeko **Frontier** da (AEB). 8.699.904 kalkulu-nukleo (*core*) ditu, eta informazioa oso abiadura handiz doa batetik bestera: 800 gigabit baino gehiago segundoan (giga = 10^9). Hala, kalkulu-abiadura harrigarria lortu du: **1,2 exaflop/s**.

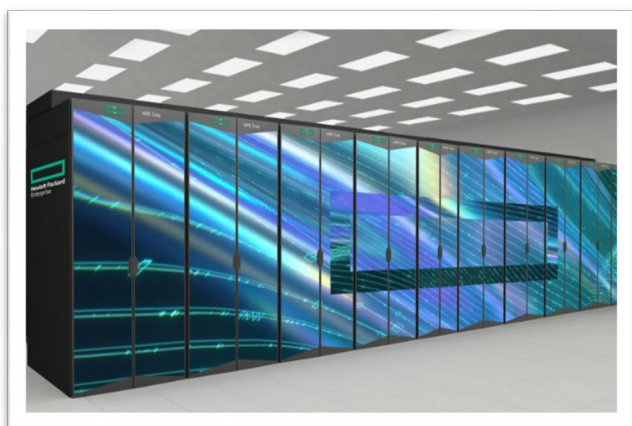
Konparazio soil bat egin dezakegu aurrerapen teknologikoaren abiaduraz jabetzeko: duela 25 urteko superkonputagailurik azkarrena (ASCI Red, 1 teraflop/s-ko abiadura lehen aldiz gainditu baitzuen) baino **milioi bat aldiz azkarragoa da Frontier**.

Zure ordenagailuak 4 nukleo izango ditu eta komunikazio-abiadura 1 Gbit/s inguruan izango da.

Exaflop/s hori kalkulu-abiadura adierazteko unitate bat da: 10^{18} (trilioi bat) eragiketa segundo batean (batuketak, biderketak, zatiketak...). Hortaz, Frontier gauza da, segundo batean, $1,2 \times 10^{18}$ eragiketa exekutatzeko. Ez da erraza kopuru horren esanahia atzematea, baina saio bat egin dezakegu.

Azken datu zientifikoaren arabera, unibertsoa, gaur ezagutzen dugun moduan, *Big Bang* izenarekin identifikatzen dugun gertaera puntual batean sortu zen, duela 13.700 milioi urte edo. Beraz, segundotan, unibertsoaren adina $4,3 \times 10^{17}$ s da. Bada, pertsona batek exekutatuko balu eragiketa bat segundoko eten gabe, $1,2 \times 10^{18}$ segundo beharko luke, hau da, 2,8 aldiz unibertsoaren adina, Frontier superkonputagailuak segundo batean egiten dituen eragiketak egiteko. Beste ikuspuntu batetik, lurreko biztanle orok, 7.000 milioi edo, segundoko eragiketa bat exekutatuko balu eten gabe, 5,5 urte beharko genituzke denon artean eragiketa kopuru hori egiteko.

Mare Nostrum



Frontier



Frontier "superkonputagailu giganteen" adibide bat da (Bartzelonan duzu beste bat, Mare Nostrum-a, 153.000 kalkulu-nukleo), baina arruntak dira industrian zein laborategietan ehunka prozesadore erabiltzen dituzten konputagailuak (Kontuan hartu aurreko datuak urtetik urtera aldatzen direla; informazioa eguneratu nahi baduzu, jo www.top500.org webgunera).

Honaino konputagailuen historia labur-laburra. Utz ditzagun alboan kontu horiek eta jolas dezagun pixka bat superkonputagailuekin.

■ ■ Konputagailu handi bat simulatzen

Hiru esperimentu simple superkonputagailuak nola funtzionatzen duten ulertzeko

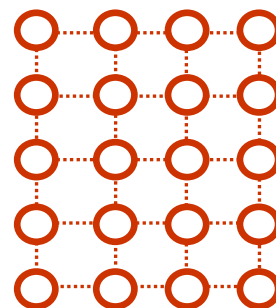
Ikusi dugunez, superkonputagailuek kalkulu-abiadura itzelak erdiesten dituzte, lortzen baitute problema konplexuak ebaztea milaka prozesadore erabiliz.

Zenbait kasutan, prozesadoreen arteko kolaborazioa erraza da, baina askotan zaila da oso. Kasurik sinpleenetan, prozesadore bakoitzak bere lana modu "pribatuan" exekutatzen du, beste prozesadoreekin batera, aldi berean. Baina, tamalez, gehienetan prozesadoreak komunikatu behar dira haien artean, informazioa trukatu eta datuak prozesatzen jarraitu ahal izateko. Prozesuen arteko komunikazioa da ordaindu behar den bidesaria kalkulua lankidetzan egin ahal izateko. Aztertuko ditugun adibideetan errazenetik konplexuenera joango gara, gainditu behar diren arazoei buruzko ideia bat lortzeko.

Zu zeu, lagunekin batera, izango zara "prozesadorea" denon artean osatuko dugun giza superkonputagailuan. Demagun 20 lagun zaretela gelan. Beraz, gauza zarete aldi berean, "paraleloan", 20 eragiketa egiteko.

Superkonputagailuen prozesadoreak antolatu ohi dira forma edo topologia jakin baten arabera. Esaterako, ohikoa da 2 dimentsioko saretxo bat antolatzea prozesadoreekin; zuek, esaterako, 5×4 pertsonako saretxo batean. Beraz, hala eseriko gara, 5 errenkadatan eta 4 zutabetan.

20 prozesadore, 5 errenkadatan antolatuta.
Norberak errenkadako eta zutabeko auzoekin
bakarrik komunikatu daiteke.



Eta, behar denean, prozesadoreen arteko komunikazioa simulatzeko, datuak paper batean idatzi eta alboko prozesadoreren bati pasako diogu, geure

errenkadan edo zutabeen; ez bada berarentzat, beste bati pasako dio, harik eta mezua helburura heldu arte.

Bolalumak eta paperak prest? Has gaitzen.

▪ 1. esperimentua ▪

Kasu ideala

- Datua: zure telefonoaren **azken hiru digituak** (adib., 125)
- Eragiketa: **datua 4rekin zatitzea, dezimalik gabe** (hau da, $125 / 4 = 31$)
- Erreferentzia: eragiketaren denbora "prozesadore" bakar batean
- **Esperimentua**: taldean lortuko dugun kalkulu-abiadura neurtzea

Hasteko, boluntario bat behar dugu, bere datua 4rekin zati dezan, jakin dezagun, gutxi asko, zenbat denbora behar duen "prozesadore" batek eragiketa hori egiteko.

Eskerrik asko; emaitza lortutakoan, altxatu eskua mesedez. Prest? Aurrera!

Tik - tak - tik - tak... Oso ondo, 5 segundo edo (lasai! ez dugu egiaztatuko emaitza, hori beste istorio bat da).

Badugu **erreferentzia-denbora on bat** eragiketarako: 5 segundo. 20 zatiketak egiteko, beraz, 100 segundo edo erabiliko zituen.

Baina, egin ditzakegu 20 zatiketak denon artean? Bana? Erraza ematen du, eragiketa guztiak independenteak direlako, eta, ondorioz, **aldi berean, "paraleloan"**, egin baitaitezke. Proba dezagun. Bakoitzak bere zenbakia (3 digituak) zatitu behar du 4rekin. Bukatzean, eskua altxatu. Denbora hartuko dugu hasieran eta bukaeran, azken eskua altxatutakoan. Aurrera!

Bat, bi... batek bukatu egin du!... lau, bost, animo... sei, zazpi. Kito!

Tira, "prozesadoreek" ez duzue exekutatu eragiketa denok abiadura berean (eragiketa batzuk "zailagoak" izan dira), errealitatean gertatzen den moduan.

Izan ere, banako proba gehiago egin behar izan genituen eta denboren batez bestea lortu, erreferentzia-denbora zuzenagoa lortzeko, baino nahikoa dugu jolasteko.

Ondo. 7 segundotan edo egin ditugu 20 zatiketak; entrenamendu pixka batekin, agian 6 edo 5 segundotan lortuko genuke! Ez du axola; kasu honetan, batez bestean, eragiketa bat 0,35 segundotan egin dugu, baina prozesadore bakar batekin 5 segundotan. Ez dago batere gaizki, ia 14 aldiz azkarrago! Kasurik onenean, 20 eragiketak eragiketa baten denboran egitea lortuko genuke. Eta 20 izan beharrean 20.000 bagina, gauza izango ginateke 20.000 eragiketa bakar baten denboran egiteko!

Errazegia, ezta? Gatz pixka bat, arren!

▪ 2. esperimentua ▪

Komunikazioa auzoekin

- Datua: N , zure telefono-zenbakiaren azken digitua (adib., 5)
- Eragiketa: $N \times 4 - \text{nire_lau_auzokoen_}N$
- **Esperimentua:** taldean lortuko dugun kalkulu-abiadura neurtzea

Bigarren esperimentuan 5 eragiketa egin beharko ditugu: biderketa bat eta lau batuketa. Aurrekoan, zatiketa bat egiteko 5 segundo behar izan ditugu, baina biderketa eta batuketa azkarrago egin daitezke, sinpleagoak baitira: demagun giza prozesadoreak segundo bat behar duela batuketarako eta bi segundo biderketarako. Beraz, 6 segundo beharko ditugu eragiketa osoa egiteko (hurbilpen sinple bat baino ez da).

Baina kontuak nahasten hasi dira, eragiketa egiteko, zuen datuez gain, "auzoen" datuak ere behar dituzuelako.

Zein auzo?

Saretxo bat osatuz eseri zarete; beraz, zure auzoak ezkerreko, eskuineko, aurreko, eta atzeko lagunak dira. Hona hemen adibide bat:

$$\begin{array}{c} 4 \\ | \\ 6 - \boxed{9} - 1 \\ | \\ 9 \end{array} \quad \rightarrow \quad \text{emaitza: } 9 \times 4 - (6 + 4 + 1 + 9) = 16$$

Ba, nik hiru auzo baino ez ditut! Eta nik bi bakarrik!

Bale, bale, konponduko dugu kontu hori. Hauxe izango da eragiketa: biderkatzea bertako datua auzo kopuruarekin —erpinetan, 2; ertzetan, 3; eta gainerakoetan, 4— eta kentzea auzo horien datuak.

Eta nola jakingo ditut nik lagunen datuak? Hitz egin edo begiratu daiteke?

Galdera garrantzitsua, bai. Ez, ezin da "hitz egin": komunikazioa "**mezu-ematearen**" bidez egin behar da. Teknologikoki konplexu samarra da komunikazioaren arazoa, baina oso modu sinplean moldatuko gara hemen, errealitatean egiten dena simulatuz. Adibidez, erdialdean dagoen bat: **idatzi zure datua lau paperetan, eta eman paper bana albokoei**. Jakina! zuk lau mezu "**bidali**" behar dituzu guztira, baina haietatik beste lau "**hartu**" beharko dituzu, bakoitzetik bat, zure kalkulua egin ahal izateko. Datuak trukatu behar dituzu, eta datu guztiak izan arte itxaron beharko duzu zure eragiketa egiteko.

Argi dago: datuak paperetan idatzi behar dituzue, paperak pasa datuak behar dituztenei, haien "mezuak" hartu, eta, azkenean, emaitza kalkulatu. Argi dago komunikazioaren kontua? Aurrekoan bezalaxe, eskua altxatu bukatutakoan. Prest... ja!

...

Izkinetan bukatu dira! Ah bai, mezu gutxiago behar dituzte.

...

Hau anabasa. Hor erdian batzuk galdu samar daude paperen artean.

...

Ja! Ederki, 30 segundo edo izan dira guztira, eragiketa bakar baterako aurreikusita genituen 6 segundoak baino gehiago, baina 20 eragiketak egiteko behar dena (120 s) baino askoz gutxiago. 20en artean, 4 aldiz azkarrago egin ditugu kalkulu guztiak.

Zer gertatu da? Komunikazioak denbora asko gehitu diola biderketa eta batuketak egiteko denborari.

Datu bat eman nahi nionean, berak ez zidan kasurik egiten, beste batekin ari zelako "hizketan", eta itxoin egin behar izan dut bere datua eskuratzeko...

Hala da, bai, eta azkenean denbora asko galtzen da komunikazio-funtzioetan. Komunikazioa beharrezkoa duen kasu sinpleenetako bat izan da adibidea: kalkulua egiteko, mezuak hartu eta bidali behar dira, eta **datu-trukeak denbora behar du**. Hori dela eta, nahiz eta P prozesadore erabili, ezin izango dugu P aldiz azkarrago exekutatu kalkulua. Dena den, ohar zaitezte ezen datu-trukearen beharra ez bailitzateke handiagoa izango P handiagoa balitz: nik 4 auzoekin komunikatu behar dut, berdin da 20 prozesadore bagara (5×4) edo 1.024 bagara (32×32). Izan ere, denbora osoan komunikazioak duen "pisua" laburtuko da prozesadore kopurua handitzen badugu.

Zailagoa izan zitekeen? Tamalez, askoz zailagoa. Egin dezagun azken esperimentu bat, are konplexuagoa.

▪ 3. esperimendua ▪

Denon arteko komunikazioa

- Datua: N , zure sakelako telefonoaren zenbakiaren azken digitua
- Eragiketa: **taldeko N guztiak batzea, eta emaitza denok ezagutzea**
- **Esperimendua:** taldean lortuko dugun kalkulu-abiadura neurtzea

Ederra muntatuko duguna. Nola batuko ditugu zenbaki guztiak, eta emaitza denok ezagutu? Kontua da eragiketa guztiz arrunta dela kalkulu tekniko eta

zientifikoko aplikazioetan, baina aurreko esperimentuetan egin ditugunak baino aski zailagoa, eta algoritmo asko dago eraginkorki egiteko. Behintzat, badago alde positibo bat: batuketa trukakorra (berdin da ordena) eta elkarkorra (taldeak egin daitezke) da.

Inori otutzen al zaio "algoritmo" edo prozedura bat kalkulu hori egiteko?

... Lehenak pasa diezaiola bere datua bigarrenari; horrek bere datuarekin batu, eta emaitza hirugarrenari eman diezaiola... eta horrela jarraitu azkenera heldu arte.

Badugu abiapuntu bat, beraz. Baina... iruditzen zait **eraginkortasunarekin** arazo bat izango dugula: 20 lagun bazarete ere, uneoro bakarra egongo da lanean, eta gainerakoak txandaren zain egongo zarete. Izan ere, kalkulua banan-banan egingo zenukete, ez paraleloan, denok batera.

... Akaso errenkadaz errenkada egin dezakegu: eskuinetik ezkerreara pasatu emaitza partzialak (heldu zaidana + nire datua) errenkada guztietan, bukaeran ezkerreko prozesadoreak errenkadako zenbakien batura izan dezan.

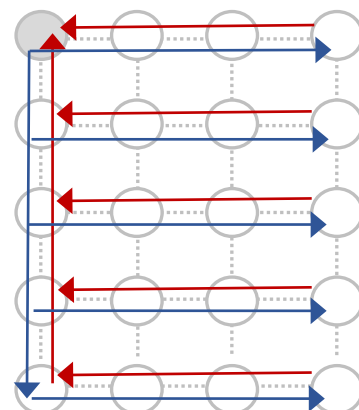
Ondo, ondo, baina horrekin mutur bakoitzean errenkada bakoitzaren batura baino ez dugu lortuko.

Bada, orain zutabe horietakoek gauza bera egin dezakete: aurretik atzera bidaltzea mezuak, heldu den mezuari bertako emaitza batuta.

Ederki, lortu dugu dagoeneko baten batek ezagutzea emaitza osoa: ezkerreko atzekoa. Baina bera bakarrik! eta denok ezagutu behar dugu emaitza.

Bidea atzera egin dezakegu orain: emaitza duen paper bat aurrekoari ematea; honek kopiak egin, eta bat aurrekoari eta bestea eskuinekoari bidaltzea; horrela, emaitzaren kopiek errenkadak zeharkatuko dituzte, orain ezkerretik eskuinera. Bukaeran, denok izango dugu emaitzaren kopia bat, ezta?

Primeran. Badugu lan egiteko algoritmo bat; segur asko ez da onena izango, baino aski ona da esperimentu



honetarako. Hurrengo laukian laburbilduta dago egin behar dena, saretxoan prozesadore bakoitzak okupatzen duen posizioaren arabera (luze samar aukeran, kasu guztiak zehaztu behar ditugulako, baina sinplea bakoitzerako):

```
Errenkada baten eskuineko prozesadorea naiz
{
  Bidali mezu bat (paper bat nire datuarekin) ezkerreko prozesadoreari
  Itxaron hartu arte mezu bat ezkerretik, azken emaitzarekin
  Eskua altxatu (amaiera)
}

Errenkada baten erdiko prozesadore bat naiz
{
  Itxaron hartu arte mezu bat eskuinetik
  Batu nire datua eta mezuan hartu dudana
  Bidali mezu bat emaitzarekin ezkerreko prozesadoreari
  Itxaron hartu arte mezu bat ezkerretik, azken emaitzarekin
  Bidali mezu bat hartu dudana emaitzarekin eskuineko prozesadoreari
  Eskua altxatu (amaiera)
}

Errenkada baten ezkerreko prozesadorea naiz, salbu azken errenkadakoa
{
  Itxaron hartu arte mezu bat eskuinetik eta beste bat aurretik (baldin badago)
  Batu nire datua eta mezuetan hartu ditudanak
  Bidali mezu bat emaitzarekin zutabeko atzeko prozesadoreari
  Itxaron hartu arte mezu bat atzetik, azken emaitzarekin
  Bidali mezuak hartu dudana emaitzarekin eskuinera eta aurrera (baldin badago)
  Eskua altxatu (amaiera)
}

Atzeko errenkadako ezkerreko prozesadorea naiz
{
  Itxaron hartu arte mezu bat eskuinetik eta beste bat aurretik
  Batu nire datua eta mezuetan hartu ditudanak
  Bidali mezuak azken emaitzarekin eskuinera eta aurrera
  Eskua altxatu (amaiera)
}
```

Tira, ez da oso zaila, baina lehen baino konplexuagoa, bai. Zenbat eragiketa egingo ditugu? Kasu honetan, 20 zenbaki batu behar ditugu. 2. esperimentuan bezala, demagun batuketa batek 1 s behar duela. Prozesadore bakoitzak 20 zenbakiak batu beharko zituenenez, denbora osoa 20 segundo litzateke

prozesadore bakoitzean... datuak balituzte! baina ez dituzte, eta, beraz, mezuak gehitu behar ditugu.

Dena argi eta garbi? Denok dakizue zein den exekutatu behar duzuen algoritmo zatia? Bai? Ez ahaztu eskua altxatzen bukatutakoan. Aurrera!

...

...

...

Listo! Uau! lehen baino denbora dezente gehiago! 120 segundo.

Azkena eskua altxatzen lehenbiziko errenkadako eskuinekoa izan da. Esperokoa zen. Bere datuak, aurrenik, errenkada osoa zeharkatu behar izan du muturreraino, gero zutabe osoa atzerantz; eta hortik emaitza bidali da, zutabe osoa aurrera, eta, azkenik, errenkada osoa helbururaino heltzeko.

Komunikazio-eragiketa hori konplexua da, eta gainera, 2. esperimentuan ikusi dugunaren kontra, behar den denborak hazten da prozesadore kopuruarekin. Esaterako, 4×5 prozesadoreko kasuan, "kasu txarreneko" mezuek zeharkatu behar izan dute, erpinetik erpinera, $3 + 4 + 4 + 3$ tarteko prozesadore: guztira, 14 pauso.

Baina 100 lagun bagina (adibidez, 10×10 -ko saretxo batean), pauso kopurua $9 + 9 + 9 + 9 = 36$ litzateke; eta distantzia eta mezu gehiagok denbora gehiago dakar.

Azken batean, exekutatu behar dugun kalkulua prozesadore gehiagoren artean banatzen badugu ere, komunikazioaren kostua gora doa prozesadore kopuruaren arabera; hau da, faktore bat gure alde doa, baina bestea kontra.

■ ■ Eredu matematiko simple bat

Sistema konplexuen portaera analizatu ahal izateko, eredu matematikoak sortu ohi ditugu; errealitatearen bertsio gutxi-asko sinplifikatuak adierazten dituzte, baina oso lagungarriak dira esperimentuen emaitzak aurreikusi eta analizatzeko. Ohiko prozedura da teknologia eta zientzietako arlo guztietan, eta antzeko zerbait egin dezakegu egin berri ditugun esperimentuekin. Adierazpen matematiko bakan batzuk erabiliko ditugu, baina oso sinpleak.

Demagun T_{kal} dela problema jakin bat ebazteko behar den denbora prozesadore batean.

Kalkulu hori bi prozesadoreren artean idealki banatzeko gauza bagara, espero izango dugu exekuzio-denbora, onenean, erdira jaistea; edo laurden batera, lau prozesadoreren artean. Hau da, exekuzio-denbora T_{kal} / P izatea espero genezake, non P baita problema ebazteko lankidetzan aritzen diren prozesadoreen kopurua.

Tamalez, aurreko adibideetan ikusi dugun moduan, problema baten ebazpena hainbat prozesadoreren artean banatzean, haien arteko komunikazioa gehitu behar da, eta, ondorioz, denbora gehitu behar da: T_{kom} .

Dena kontuan hartuta, honela modela daiteke exekuzio-denbora paraleloa P prozesadoreren artean:

$$T_p = T_{kal} / P + T_{kom}$$

Erraza da konturatzea lehen batugaia laburtzen dela P haztean, baina, zein da T_{kom} batugaiaaren portaera P -ren arabera?

Ebatzi behar den problemaren araberakoa da. Kasurik sinpleenean, T_{kom} 0 da: ez dago komunikaziorik. Horixe bera gertatu zaigu 1. esperimentuan: eragiketak datu pribatuekin egiten ziren prozesadore guztietan. Beste zenbait kasutan, 2. esperimentuan ikusi dugun moduan, komunikazioa beharrezkoa da, baina mugatuta dago; esaterako, auzoko prozesadoreekin bakarrik. Hori dela eta, komunikazio-denbora konstante bat da, eta ez da aldatzen P -ren arabera,

auzoen kopurua beti 4 delako. Azkenik, badaude kasuak non prozesuen arteko komunikazio-denbora, T_{kom} , gero eta handiagoa baita P hazten denean. Denbora hori modu desberdinetan aldatuko da, ebazten ari garen problemaren arabera (adibidez, linealki, edo P -ren potentzia bat bezala, edo logaritmo bat...).

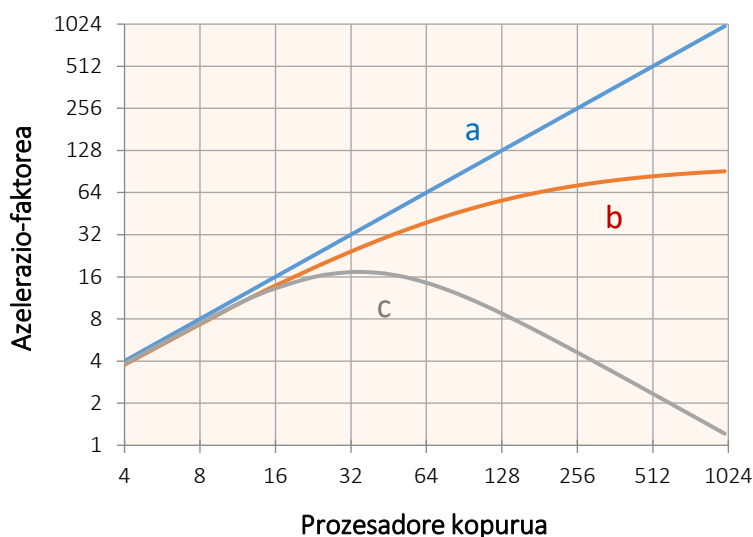
Kontuan hartu aipatu ditugun hiru kasuak:

- a. $T_{kom} = 0$
- b. $T_{kom} = k_1$ konstantea
- c. $T_{kom} = k_2 \times f(P)$ P -rekin hazten da ($P^{1/2}$ -ren arabera adibidean)

Ez da zaila kalkulatzeko, kasu bakoitzean, zenbat aldiz azkarragoa izango den exekuzioa P prozesadoreekin, prozesadore bakarreko kasuarekin alderatuta; nahikoa da exekuzio-denborak zatitzea (adib., lehen 10 segundo behar genituen eta orain 5; beraz, exekuzioa $10 / 5 = 2$ aldiz azkarragoa izan da). Hau da,

$$\text{azelerazio-faktorea} = T_1 / T_p = T_{kal} / [T_{kal} / P + T_{kom}]$$

Grafiko honetan ikusten da nola aldatzen den azelerazio-faktorea prozesadore kopuruaren arabera aurreko hiru kasuetan.



a kasua, non $T_{kom} = 0$ den, kasu idealak da: P prozesadore erabiltzen ditugu eta P aldiz azkarrago goaz; azelerazio-faktorea zuzen bat da, eta haren malda, 1.

b kasuan, non T_{kom} konstantea den ($\neq 0$), azelerazio-faktoreak limite edo asintota bat dauka, dakizunez, gainditu ezin daitekeen balioa nahiz eta P -k infiniturantz jo; balio hori T_{kal} / T_{kom} da.

Azkenik, **c kasuan**, T_{kom} komunikazio-denbora P -rekin hazten denean (adibidez erro karratuaren arabera), azelerazio-faktoreak maximo bat erdiesten du prozesadore kopuru jakin baterako (arazorik gabe kalkula dezakezu maximo hori azelerazio-faktorearen adierazpena P -rekiko deribatuz eta 0rekin berdinduz), eta hortik aurrera jaitsi egiten du: hau da, programa exekutatzeko, denbora gehiago beharko dugu prozesadore gehiago erabiltzen badugu (!). Jakina, ez da notizia ona, adierazten baitu azelerazioa eta paralelismo-maila osoa mugatuak izango direla, eta, ondorioz, problema hori ebazteko algoritmo eraginkorragoren bat diseinatu beharko dugula.

■ ■ **Etorkizuna**

Gaur egun, eskura ditugu kalkulurako milaka (milioika) nukleo erabiltzen dituzten superkonputagailuak, eta haien bidez zientzia eta ingeniartzako problema oso konplexuak ebatz ditzakegu, duela gutxi arte imajinaezina zen abiadura itzelean gainera. Baina abantaila horiek ez datoz musu-truk, eta arazo asko gainditu behar ditugu kalkulu-abiadura horiek lortzeko. Saio honetako adibideetan arazo nagusia aztertu dugu: prozesuen arteko komunikazioa.

Konputazio tekniko-zientifikoaren beharrak mugagabeak dira. Makina gero eta azkarragoak edukitzeak ahalbidetzen gaitu problema berriei ekiteko eta soluzio berriak proposatzeko, jakintza-arlo guztietan: unibertsoaren jatorri eta galaxien eboluziotik, eritasun jakinetarako farmako espezifikoaren garapenera; ibilgailuen eta hegazkinen diseinu eta optimizaziotik, material berrien proposamenetara; datu-base itzelen prozesamendutik, sistema biologikoen portaeraren simulazioetara; eguraldiaren edo prozesu sismikoen aurreikuspenetik, giza taldeen portaeraren analisira.

Makina horiek garatzea eta kudeatzea, algoritmo eraginkorrak proposatzea eta programatzea, prozesuen arteko komunikazioa gauzatzeko mekanismoak sortzea, eta askoz kontu gehiago dira informatika-ingeniaritzaren helburuak arlo jakin honetan: superkonputazioan.



Azken 50 urteetan mikroelektronikan izandako aurrerapenek teknologia horren muga fisikoetara hurbildu gaituzte. Siliziozko txip batean 10.000 milioi transistore baino askoz gehiago integratu daitezke. Transistoreek abiadura handiz (nanosegundo batean baino denbora gutxiagoan) kommutatzen dute 1etik Ora eta alderantziz. Diseinu bereziko zenbait gailuk (txartel grafikoak, bektore-prozesadoreak...) gauza dira bilioi bat eragiketa egiteko segundo batean. Prozesadoreek memoria kopuru handiak erabil ditzakete, 128 GB-tik gora. Eta bidali ditzakegu datuak prozesadoretik prozesadorera dagoeneko 100 nanosegundoetatik oso hurbil dauden denboretan.

Baina harantzago joan ahal izateko, eta maiz hara joan behar da, beharrezkoa izango da kalkulu-makina eta algoritmo berriak sortzea. Konputazio kuantikoak (non atomoen ezaugarri kuantikoak erabiltzen baitira), optoelektronikak, eta oraintxe bertan ikertzen eta garatzen ari diren beste teknologia askok aukera berriak eskainiko dizkigute ezagutzaren erronka horiek guztiak gainditu ahal izateko.



Atlas superkonputagailua
(DIPC, Donostia International Physics Center)

Eta askoz gauza gehiago. Hizkuntzaren prozesamendua, web aplikazioak, adimen artifiziala, robotak, konputagailu-sareak, behar bereziak dituzten pertsonentzako laguntzak, datu masiboen analisia, kontrol-sistema txertatuak, osasunerako informatika, irudien eta bideoaren prozesatzea, kriptografia eta segurtasuna...

**Mugarik ez zure irudimenerako.
Animatuko zara?**

