

Korlátlan sávszélesség és számítási teljesítmény

Álló Géza - Bartolits István

Tézis: A technológia fejlődése gyakorlatilag korlátlan lehetőségeket teremt a sávszélesség növelésére, valamint a tárkapacitás bővítésére és a számítógépek működési sebességének fokozására. Mindezek következményeként a hálózatokkal összefonódott számítástechnikai rendszerek egyre inkább részévé lesznek az átlagpolgár életének, ami paradigmaváltást kényszerít ki és új üzleti modellek megjelenését eredményezi mind a hírközlésben, mind pedig a számítástechnikai (hardver és szoftver) eszközök felépítésében és alkalmazásában.

1. Témakör

Az elemzésben a mai kort az *informatika* korának nevezzük abban az értelemben, hogy a *számítástechnika* – a fejlődés révén mindinkább elválaszthatatlanul – *összefonódik a hálózatokkal*. A fejlődés ütemét és mértékét döntően a *sávszélesség* növekedése, valamint a *tárolókapacitás* bővülése és a *műveleti sebesség* fokozása befolyásolja; a két utóbbi együttesen határozza meg egy adott számítógép *számítási teljesítményét*, más szóval feladatmegoldási *hatékonyságát*.

Egy számítógép számítási teljesítménye nyilvánvalóan annál nagyobb – vagyis a gép annál hatékonyabb –, minél rövidebb idő alatt tud megoldani egy adott bonyolultságú feladatot, ha egyáltalán meg tudja oldani. Mind a hatékonyság, mind a feladatmegoldó képesség természetesen függ a gép architektúrájától és utasításkészletétől¹, ezért lehetséges a számítási teljesítmény növelése újelví architektúrák kialakításával is. Az utóbbiakra a 3. fejezetben mutatunk példákat, de a feladatmegoldó képesség elemzése nem tartozik tanulmányunk témaköréhez.

A növekedés alapja kétségkívül a *nanotechnika* kibontakozása és behatolása az információközlésbe, valamint a számítástechnikába. Jóllehet a három fő informatikai erőforrás fejlődése sok tényezőtől függ, a trend jól jellemezhető az alábbi *tapasztalati törvényekkel*:

- *Gilder-törvény a sávszélességről*: a kommunikációs rendszerek teljes sávszélessége évente megháromszorozódik.
- *Ruettgers-törvény a tárolási kapacitásról*²: a memórialapok tárolási kapacitása évente megkétszereződik.
- *Moore-törvény a lapkasűrűségről és a műveleti sebességről*: az egy lapkára integrált tranzisztorok és egyéb áramkört elemek száma átlagosan másfél évente megkétszereződik, valamint ugyanilyen arányban nő működési sebességük is.³

A törvények érvényessége már hosszabb ideje fennáll s az előrejelzések szerint fenn is marad a vizsgált 2008-2018 közötti időszakban.⁴ A belőlük következő exponenciális fejlődés következtében fokozatosan beköszönt a *korlátlan informatika* kora, amelyben az igényeket *nem korlátozza a feladatok megoldásához rendelkezésre álló erőforrások* – sem a

¹ Emlékeztetünk rá, hogy amióta (1946) napvilágot látott a Neumann-Goldstine jelentés, a számítástechnikát a mai napig Neumann-elví számítógépek uralják, még a jelentős sikereket elkönyvelő párhuzamos működésű rendszerekben is; emiatt a hagyományos számítógépek architektúrája és utasításkészlete gyakorlatilag azonosnak tekinthető. A Neumann-elví számítógépek *univerzálisak*: elvileg bármely algoritmizálható feladatot meg tudnak oldani, legfeljebb nagyon rossz hatékonysággal, vagyis elfogadhatatlanul hosszú idő alatt.

² Memória-törvénynek is szokták nevezni.

³ Gordon Moore az Intel társalapítója, majd kereskedelmi igazgatója a róla elnevezett tapasztalati törvényt először 1965-ben fogalmazta meg, majd 1975-ben módosította. Az általa eredetileg kimondott összefüggés még az egységnyi felületre eső tranzisztorok számáról szólt, de a későbbiekben mérőszámként egyre inkább a *műveleti sebesség* került előtérbe. Ennek tizenhét havonkénti megkétszereződését a fejlődést 1965-től napjainkig ábrázoló regressziós egyenes meredeksége mutatja (lásd a 0. ábrát).

⁴ A trendeket rendszeresen vizsgálják az Egyesült Államokban, az eredményeket körülbelül két évente megjelenő jelentésben hozzák nyilvánosságra (*International Technology Roadmap of Semiconductors* = ITRS).

sávszélesség, sem a tárcapacitás, sem a műveleti sebesség – *szűkös volta*, sőt némelyikük még az igények előtt is járhat. A lehetőségek négy tekintetben jelentős változásokat idéznek elő az alkalmazói oldalon is:

- Mivel a műveleti sebesség fokozódása lassúbb, mint a sávszélesség növekedése és a tárolókapacitás bővülése, ez utóbbiak egyre kevésbé jelentenek korlátot az infokommunikációs alkalmazások előtt: gyakorlatilag úgy tekinthetjük, hogy mindkettő korlátlanul áll a felhasználók rendelkezésére. Ennek következményeként teljesen új szolgáltatások fejlődnek ki, amelyek már a teljes hálózat erőforrásait teszik elérhetővé a felhasználó számára (a "hálózat maga a számítógép" elv megvalósulása). Ugyanakkor a végberendezések szintjén is megszűnnek a tárolási és a hozzáférési korlátok, ami maga után vonja a végberendezések szerepének módosulását.
- A számítási teljesítmény éppen napjainkban jut el arra a szintre, hogy a távközlő hálózatokban a *vonalkapcsolt* beszédátvitel helyett tömegesen megjelenhet a *csomagkapcsolt* beszéd- valamint képátvitel. Ennek következményei pedig döntő hatással lesznek a távközlő hálózatok működésére és a szolgáltatók üzleti modelljeire.
- A jelentős fejlődés természetesen kihat az alkalmazási programok – köztük a tartalomszolgáltatás – fejlesztésére is; mivel azonban a programfejlesztési technikák fejlődése sokkal lassúbb, a hardverfejlesztési eredmények kihasználása elmarad a lehetőségek mögött. Az ebből adódó problémákra visszatérünk.
- A fejlődés lehetővé teszi a *konvergenciát* a különböző megoldások között mind a (vezetékes és mobil) hálózatok, mind a szolgáltatások, mind pedig a számítástechnikai eszközök terén. Emellett a századforduló környékén nemcsak a tudományos életben, hanem az informatikában is felerősödtek a korábbi *integrációs törekvések*, amelyek közelebb viszik egymáshoz a különböző elméleti és technikai megoldásokat: egyrészt több tudományra alapozó (interdiszciplináris) új kutatási területek jelentek és jelennek meg folyamatosan, másrészt a korábban kifejlesztett technológiák ötvözésével specifikus feladatok hatékony megoldására alkalmas új eredmények születtek/születnek.

2. Jelenlegi helyzet

Bár már többször megjósolták, hogy valamelyik tapasztalati törvény előbb-utóbb elveszíti érvényességét, ez egyelőre egyikük esetében sem következett be: mind a sávszélességet, mind a tárolókapacitást, mind műveleti sebességet jellemző mutatók folyamatos növekedést jeleznek.

2.1 Technológiai fejlesztések

2.1.1 A sávszélesség növelése

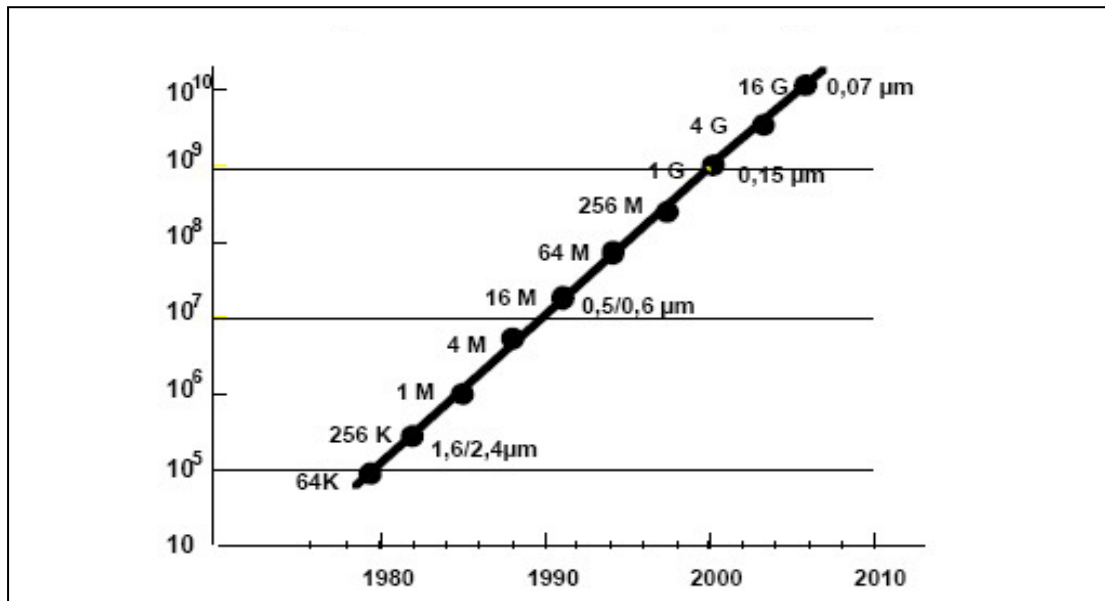
A sávszélesség növekedése már eljutott arra a szintre, hogy a végberendezések hálózati kapcsolata természetessé vált és ennek következtében a hálózat erőforrásait közel ugyanolyan mértékben tudják elérni, mint saját belső erőforrásaikat. Ebben a folyamatban jelentős szerepet játszanak a gerinchálózatokban alkalmazott optikai kábelek, amelyek kapacitása több nagyságrenddel nagyobb, mint a hagyományos kábeleké. Az optikai kábelek alkalmazása a gerinchálózatokban mára már általánossá vált. Az első időkben olyan optikai szálakat állítottak elő, melyeken egyetlen hullámhosszon lehetett nagysebességű átvitelt megvalósítani, ezeket nevezzük egymódusú optikai szálaknak. Az optikai kábelben több optikai szál helyezkedik el (akár 96 szál is lehet egyetlen kábelben), ezért egyetlen optikai kábel igen jelentős kapacitást testesít meg. Később azonban kifejlesztették a multimódusú

szálat, ahol sok frekvencián lehet fényjeleket továbbítani, ráadásul anélkül, hogy ezek zavarnák egymást. Ezt az elvet nevezzük hullámhossz-osztásos multiplexálásnak (Wavelength Division Multiplexing). A CWDM rendszerekben (Coarse WDM – durva WDM) csak néhány (maximum 8) különböző frekvenciájú fényjelet használnak, de a szál kapacitását már ez is jelentősen megnöveli. Az igazi növekedést azonban a DWDM rendszerek (Dense WDM – sűrű WDM) jelentik, ahol az optikai szálban elméletileg létrehozható 111 frekvenciaablakból 16, 40 sőt akár 80 ablakot is használnak. A multimódusú szálakat tartalmazó kábelek kapacitása szinte már csak attól függ, hogy milyen végberendezéseket telepítünk a kábel két végén. Sok esetben a kábel egyes szárait nem is használja eleinte a szolgáltató, nem telepít rájuk végberendezéseket. Ezeket nevezzük sötét szálaknak.

A hozzáférési hálózatok területén szintén jelentős a fejlődés: ma már nem csak vállalatok és intézmények, hanem egyéni felhasználók is szélessávú vonalakra csatlakozhatnak az Internetre. Ezáltal mind jobban elterjednek a szélessávú hozzáféréseken alapuló alkalmazások. Az egyéni felhasználókat kiszolgáló hozzáférési hálózatoknál a legnagyobb problémát az okozza, hogy az egyetlen felhasználót kiszolgáló szélessávú hozzáférési hálózati kapcsolat kiépítése igen drága. Ezért örvendenek nagy népszerűségnek azok a technológiai megoldások, amelyek a meglévő távközlési rendszerek hozzáférési hálózatait használják fel a felhasználó elérésére. A telefonhálózat előfizetői érpárjait felhasználó xDSL rendszerek által nyújtott sáv szélesség jelentős mértékben növekedett az elmúlt években. Míg a hagyományos ADSL technológia 2-3 Mbit/s-os, az ADSL2+ technológia már 6-8 Mbit/s-os átviteli sebességet képes továbbítani az előfizetők irányába 2-3 km-es előfizetői hurokhossz mellett. Legújabbán pedig a VDSL technológia már akár 50-100 Mbit/s-os sebességre is képes, igaz itt az előfizetői hurokhossz legfeljebb néhány száz méter lehet. Ezért kezdtek elterjedni azok a megoldások, ahol a hurok nagyobb részét optikai szállal helyettesítik és csak az utolsó néhány száz méteren marad meg az egyes lakásokig elmenő réz érpár. Távolatlag a megoldást azonban az FTTB (Fiber to the Building) és FTTH (Fiber to the Home) megoldások fogják jelenteni, ahol az optikai szál egészen az épületek aljáig vagy a lakásig ér el.

2.1.2 A tárkapacitás bővítése

A tárkapacitás bővülését bemutató grafikon logaritmikus skálán ábrázolja a növekedés ütemét: a töretlen egyenes vonal exponenciális jelleget mutat (lásd az **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** ábrát; itt a csíkszélességet is feltüntettük.). Így egyrészt a hálózati erőforrások fokozatosan egyre nagyobb mértékben tudják átvállalni a tárolási feladatokat a végberendezésektől, másrészt viszont arra is lehetőség nyílik, hogy a végberendezések tudjanak sokkal nagyobb mennyiségű rendszerezett adatot tárolni hálózati erőforrásokon, akár átmenetileg, akár hosszú távon is.



1. ábra: A tárcapacitás bővülése (Ruetters törvény)

Ezzel jelentősen kiteljesednek azok a szolgáltatások, amelyek hálózati erőforrásokra alapozva működnek, illetve azok az alkalmazások, amelyek végberendezések együttesét is képesek rendelkezésükre álló erőforrásként kezelni. Mindezen lehetőségek megnyitják az utat a komplex hálózati alkalmazások, a *grid-számítások* (grid computing)⁵ és az *egyenrangú* (peer-to-peer, P2P) *rendszerek*⁶ fejlődése előtt.

2.1.3 A műveleti sebesség fokozása

2.1.3.1 Növekvő lapkasűrűség

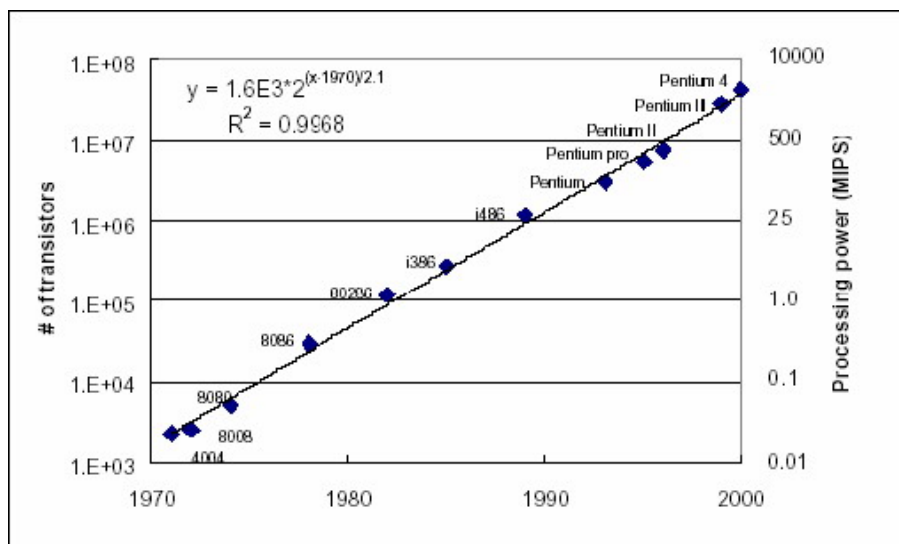
A műveleti sebesség folyamatos fokozódását ugyancsak logaritmikus skálán szemléltetjük (lásd a 0. ábrát). A jó közelítéssel egyenes vonal mutatja, hogy mind az egy lapkán elhelyezkedő tranzisztorok száma, mind sebességük (MIPS = egymillió művelet/mp) exponenciálisan nőtt 1970-2000 között. Ezáltal napjaink számítógépeinek számítási teljesítménye már számos alkalmazási területen korlátlanak tekinthető; például az IP-alapú hálózatok *útvonalválasztói* (router) már biztonsággal és késleltetés-ingadozás nélkül képesek átkapcsolni nagysebességű, valós idejű jelfolyamokat, megalapozva ezzel mind a VoIP⁷, mind az IPTV⁸ széleskörű elterjedését.

⁵ A grid-számítás valamilyen elosztott számítás; az elemzésben csak földrajzilag elosztott számítógépek hálózatából álló grid-rendszerekkel foglalkozunk.

⁶ A peer-to-peer vagy P2P elv lényege, hogy az informatikai hálózat végpontjai *közvetlenül egymással* kommunikálnak, központi kitérített csomópont nélkül. A végpontok lehetnek egyenrangú számítógépek (például egy helyi hálózaton), vagy valamilyen célból közvetlenül kapcsolódó programok. Részletesen lásd *P2P megoldások* mélyfűrés (A18r).

⁷ Az internet protokoll (IP) az internet (és internet alapú) hálózatok egyik, az üzenetforgalmat meghatározó szabványa. Az IP alapú beszédátvitel (angolul Voice over IP = VoIP) nem a hagyományos telefonhálózaton, hanem az interneten vagy az internettől független IP alapú hálózaton folyik.

⁸ Az IPTV (Internet Protocol Television) IP alapú digitális interaktív tévészolgáltatás, amely csak szélessávú internet-hozzáféréssel érhető el.



2. ábra: A lapkasűrűség és a műveleti sebesség összefüggése (Moore-törvény)

Természetesen nőnek a felhasználói igények is, így vannak – és mindig lesznek is – olyan feladatok, amelyek az elért teljesítményszinten megoldhatatlanok. Ezért a műveleti sebesség fokozásában nincs megállás, a kulcsszerepet pedig a nanotechnika játssza. Így a fejlődés részben hagyományos utakon halad, részben azonban újjelvű módszerek bevezetésével is gyorsul, illetve jut át holtponthoz. Ezek a technikák 5 - 20 éven belül mehetnek át kísérletiből gyakorlativá, de lesznek köztük olyanok is, amelyek széleskörű elterjedése már csak a vizsgált időszakot követően várható.

2.1.3.2 Sokprocesszoros áramkörök

A félvezető lapkákon kialakított áramkörtani elemek méretének csökkentése ugyan kisebb fogyasztást is jelent, a lapkasűrűség növelése azonban óhatatlanul együtt jár a fogyasztásnak, következésképpen a hőtermelésnek növekedésével is, ami komoly hűtési problémákat vet fel.

További hátrányt jelent még, hogy a molekulák hőmozgása miatt az áramkörök gyorsabban öregsznek és érzékenyebbé válnak a radioaktív sugárzásra.

A problémák megoldására fejlesztették ki a kétprocesszoros – az új szakzsargonban *kétmagos* – lapkákat, amelyek használatával a Moore-törvényt meghaladó mértékben – a sűrűség érdemi növekedése nélkül is – fokozódik a műveleti sebesség. A kétmagos processzorok mintájára természetesen sokmagos rendszereket is fejlesztenek.

Ilyeneket ez idő szerint az Intel és az Advanced Micro Devices (AMD) gyárt; az utóbbi 2007 második felében dobta piacra 4-magos processzorát.

A fejlesztés persze nem állt meg, az *Intel* 2007 elején mutatta be 80 processzort tartalmazó *Teraflop chip* nevű alkotását, amelyen a processzorok négyzetárcsban helyezkednek el. Ha hinni lehet a nevének, a Terafloppal 1 billió (10^{12}) lebegőpontos művelet/mp sebesség érhető el. Az eszköz egyelőre laboratóriumi típus és nem kompatibilis a korábbi Intel-lapkákkal, de folyamatban van kereskedelmi forgalomba kerülő kompatibilis változatának kialakítása is, amelyekre esetenként több száz processzort is ráépítenek. Az elképesztő lapkasűrűséget új gyártási technológiával érték el, amelynek révén sikerült jelentősen, mintegy 95%-kal csökkenteni a tranzistorok korábbi méretét, miáltal csökkent a fogyasztásuk és nőtt a sebességük is.⁹

A működési sebességet tovább növeli, hogy mindegyik processzorhoz saját adatesomag-kapcsoló

9 A bemutatón a lapkát ideiglenesen összekapcsolták egy számítógéppel és egy egyszerű tudományos számításvégzése során ténylegesen produkáltak 10^{12} művelet/mp sebességet, ami eléri a 10 évvel ezelőtti leggyorsabb szuperszámítógépekét. Ennél a sebességnél a lapka mindössze 62 W-ot fogyasztott és léghűtéssel működött.

tartozik, így két szomszédos processzorcella között az adatátviteli idő mindössze 1,25 ns, vagyis 800 GB adattranszfer valósulhat meg másodpercenként a lapka processzorai között. A kiépített interfészek lehetővé teszik továbbá, hogy a jövőben közvetlenül a processzorok fölé építsenek egy memória-lapkát, s a maihoz képest mindkét irányban sokszorosára növeljék az adatátviteli sebességet a processzorok és a tárcellák között is.

Megemlítendő még a sokprocesszoros lapkák energiakímélő kialakítása: az éppen nem működő processzorok automatikusan takarékos üzemre állnak át.

A hálózatfejlesztő és a grafikus eszközöket gyártó versenytársak persze nem nézik tétlenül az Intel és az AMD konkurenciaharcát, hanem – feladva az univerzalitás elvét – saját használatra fejlesztenek ki fantasztikus képességű célrendszereket. A Cisco Systems például 192-magos lapkákat használ hétszintű protokollt megvalósító hálózati útvonalkapcsolóiban, az Nvidia pedig 2006 végén jelentette be *Geoforce 8800* néven új szuperteljesítményű 128-magos grafikus processzorát. De az Intellisys sem várt a sokmagos lapkák kereskedelmi megjelenésére: saját fejlesztésű *SEAForth-24A Embedded Array Processor* elnevezésű 24 processzoros lapkája másodpercenként 24 milliárd művelet végzésére képes időosztásos üzemmódban; ezt a lapkát a vezeték nélküli távközlésben programvezérelt rádiózásra, audiojel-feldolgozásra és távoli adatgyűjtésre kívánják használni.¹⁰

2.1.3.3 Szuperszámítógépek

A műveleti sebesség fokozása terén jelentős szerephez jutnak a *szuperszámítógépek* is. Ezek alapvetően *teljesen párhuzamos* (massively parallel) rendszerek,¹¹ ezért számítási teljesítményüket optimálisan kihasználó alkalmazások kifejlesztéséhez új algoritmikus szemléletre és szoftvertechnológiákra van szükség. A teljes párhuzamosságot kihasználó – a *működtetőrendszer alatti rétegek* optimális működését megvalósító – programok kifejlesztése speciális szakismereteket és gyakorlottságot igényel. Még a mai programozó-guruknak sincs vagy alig van tapasztalatuk, hogyan kell jobb eredményeket elérni ilyen párhuzamos eljárásokkal, és nincsenek magasszintű eszközök sem az alacsonyabb szintű hardver és szoftver párhuzamosságok kezelésére.

A szuperszámítógépek működési sebességét a nemzetközileg elfogadott úgynevezett Linpack-szintmérővel (benchmark) mérik, amely azt vizsgálja, hogy hány 64 bites lebegőpontos műveletet végez a gép másodpercenként. A világon jelenleg működő 500 leggyorsabb szuperszámítógép adatait a Top500 lista tartalmazza, amely 15 szempont szerint (gyártók, országok, architektúra, processzortípus, működtetőrendszer stb.) lekérdezhető. A listában szereplő gépek műveleti sebessége néhány 100 teraflop/mp.¹²

Az elsőnek elismert petaflop (10¹⁵ lebegőpontos művelet/mp) szuperszámítógép az IBM kutatólaboratóriumában (Poughkeepsie) 120 M\$ költséggel épült és 2008.06.09-én bemutatott *Roadrunner* (≈ Gyalogkakukk), amely a Linpack teszt során 1,026 petaflop sebességet produkált. A Roadrunner nagyjából egy nap alatt végez egy olyan feladattal, amelynek megoldása 10 éve még 3 évet vett volna igénybe.¹³

2015 körül sokféle hardver architektúrájú számítógép lesz forgalomban; ezeket olyan virtuális számítógépek fogják kezelni, amelyeken több működtető rendszer futtatható, s közülük a konkrét alkalmazáshoz legjobban illeszkedőt lehet kiválasztani. Az új alkalmazások kifejlesztőinek igazodniuk kell a párhuzamos architektúrához, ha jó eredményeket akarnak elérni; ezen kívül az ő felelőségük lesz, hogy a megoldás hasznosságán és költségén kívül figyelembe vegyenek olyan szempontokat is, mint a pontosság és a megbízhatóság.

¹⁰ John Markoff: *Intel Prototype May Herald a New Age of Processing*; <http://www.nytimes.com/2007/02/12/technology/12chip.html>.

¹¹ Szemben a valamilyen idő- vagy feladatmegosztáson alapuló „ál-párhuzamos” rendszerekkel.

¹² Érdekességképpen: az 500 gép közül 209 IBM, 183 HP gyártmányú; a tárcapacitás 20 - 80 terabájt; 427 gépen Linux, 25 gépen Unix működtetőrendszer fut. — A listát évente kétszer frissítik; a közölt adatok a 2008.06.23-i frissítésből valók. További részletek: www.top500.org.

¹³ A 250 tonnás monstrum bővíthető teljesítményét a 6120 db Opteron processzor köré szervezett 12240 db PowerXCell 8i jelű, 65 nm-es technológiával gyártott lapka szolgáltatja, 2 petabájtos háttértára pedig 10 gigabites Etherneten csatlakozik hozzá. — Megemlítjük, hogy a világ első petaflop szuperszámítógépét Jokohában, a RIKEN intézetben mutatták be 2006.06.21-én. A bemutatón 1,1 petaflop/mp teljesítményt nyújtott gép elsőségét azonban elvitatták, mert nem volt futtatható rajta a Linpack teszt.

„Az algoritmusok, a programok és az eszközök szorosan összefüggnek: bármelyik megváltozik, a többit is hozzá kell igazítani, különben nem kapunk kielégítő megoldást. Az összefüggések miatt minden változás megbontja az egyensúlyt és ezért költséges. Figyelemmel kell lenni a könnyű módosíthatóságra is, hogy követni lehessen a technológiai fejlődést.”¹⁴

2.2 Alkalmazások

A megnövekedett és a korlátlan irányában folyamatosan növekvő sávszélesség és számítási teljesítmény alkalmazási területei tulajdonképpen lefedik az informatika egész világát, amelynek teljes körű elemzése meghaladná tanulmányunk kereteit. Ezért egyes alkalmazások önkényes kiemelése helyett inkább néhány várható jellegzetes felhasználást említünk meg, a teljesség igénye nélkül:

- Új ember-gép interfészek kialakítása (kép- és beszédvezérlés).
- Rugalmas környezettervezés és -változtatás (lakóházak, közösségi épületek stb.).
- Újfajta virtuális (játék), illetve távoli világok kialakítása és (megtévesztő) összekapcsolása a valós világgal, az újfajta és rengeteg érzékelőn keresztül.
- A szuperszámítógépek hatalmas számítási teljesítményének (demokratikus) felhasználása, bárhol a világon, nemcsak kivételezett kutatóhelyeken.
- Hálózatok korlátlan felhasználása tetszőleges egyéni célokra.
- „Gondolkodó” és „tanító” robotok létrehozása a tanulás megkönnyítésére.
- Személyre szabott egészségfigyelő és ellenőrző rendszerek kialakítása.¹⁵

A sávszélesség és a számítási teljesítmény korlátlaná válása lehetővé tesz olyan nanotechnikai alkalmazásokat is, amelyek enélkül nem valósulhatnának meg. Példaképpen csak a kvantumkriptorafiát említjük meg, amellyel feltörhetetlen titkosítási kódokat lehet generálni; nem véletlen, hogy az ilyen irányú kutatásokat erősen támogatják a titkosszolgálatok.

A szuperszámítógépek igény szerint elérhetőek lesznek érzékelő-hálózatok programozására, beszédfelismerésre, gépi fordításra, képfelismerésre, és a különféle video-alkalmazásokra (játékok, otthon szerkeszthető tévéműsorok stb.). A vállalati alkalmazások között a nagy pontosságú szimulációt, valósidejű interaktív grafikát és az igen nagy méretű numerikus modellezést kell kiemelni.

Érdekességképpen megemlítjük még, hogy az informatikába is betört a „zöld szemlélet”: egyre több gyártó cég reklámozza termékeit azzal, hogy környezetkímélő alapanyagokat és gyártástechnológiát használ, valamint energiatakarékos eszközöket kínál.

3. Folyamatban levő kutatások, fejlesztések

A méretesökkentésért és a műveleti sebesség fokozásáért folyó éles verseny során a technika elérkezett a *nanovilágba*, amely átmeneti tartomány a mikrovilág és az elemi részek világa között.¹⁶ Ebben a világban az anyag meglepő, újszerű tulajdonságokat mutat, amelyeket a másik két tartományban gyűjtött tudományos ismeretek alapján nem lehet előre látni. Az elméletek kísérleti kipróbálásához, majd az eredmények gyakorlati hasznosításához szükséges eszközöket a *nanotechnika* állítja elő.¹⁷

A nanotechnika kialakulásában fontos szerepük volt a 20. század utolsó évtizedeiben felfedezett *páztázó*-, illetve *alagút-mikroszkóp*oknak, amelyek (közvetlenül) láthatóvá teszik a molekulák és az

¹⁴ David E. Culler: *Parallel Computer Architectures*; <http://www.cs.berkeley.edu/~culler/cs258-s99/>

¹⁵ http://hvg.hu/Tudomany/20080603_techologia_gartner_jelentes_augmented.aspx?s=200864nl

¹⁶ Nanosz = törpe (görög). A nanorészecskék mérete 10^{-9} m, az elemi részecské 10^{-12} m nagyságrendű, ezért az utóbbiak világát logikusan „pikovilágnak” lehetne nevezni.

¹⁷ A mikrotechnika akkor vált át nanotechnikába, amikor a felhasznált építőelemek mérete mintegy 50 nm alá csökken, bár a gyártóeszközök és a gyártási módszerek nem határolhatók el élesen. Szemben a szokványos anyagmegmunkáló eljárásokkal, amelyek rendszerint a „felesleges” anyag eltávolításán alapulnak, a nanotechnika – hasonlóan az élő szervezetekhez – a „szükséges” anyag atomjainak irányított összerakására törekszik. Elképzelhető, hogy ennek révén a távolabbi jövőben fokozatosan elmosódik a határ az élettelen- és az élővilág között. — A nanotechnikáról bővebben lásd a *Nanoelektronika* mélyfúrását (A4).

atomok nanovilágát.¹⁸

A határok persze nem élesek és a fejlesztők alapvető célkitűzése minden esetben ugyanaz: megoldani olyan bonyolult feladatokat, amelyekkel a hagyományos számítógépek egyáltalán nem, vagy ésszerű idő alatt nem tudnak megbirkózni, illetve megoldásukhoz olyan nagy teljesítményű egyedi gépekre vagy sokgépes hálózatokra van szükség, amelyekhez eddig csak „beavatottak” férhettek hozzá.

Annak érdekében, hogy a folyamatosan bővülő felhasználói köröknek és alkalmazásaiknak egyre nagyobb erőforrások iránti igényei továbbra is kielégíthetők legyenek, komoly kutatások folynak mindhárom említett tapasztalati törvény terén. Elfogadva, hogy ezek a vizsgált 2008-2018 időszakban érvényben maradnak, az alábbiakban bemutatjuk azokat a jelentősebb kutatási-fejlesztési irányokat, illetve projekteket, amelyek révén – az 1. fejezetben említett értelemben – mind kevésbé korlátos sávszélesség és számítási teljesítmény áll a felhasználók rendelkezésére.

3.1 A sávszélesség növelése

A korlátlan sávszélesség témakörében igen sok kutatási-fejlesztési projekt van folyamatban. Mivel a szélesávú kommunikáció alkotja az információs társadalom kiteljesedésének alapját, az EU IST FP6 igen sok ilyen jellegű projektet finanszírozott és a most induló FP7-es ciklusban is folytatódik ez a tendencia:

- A BREAD (BRoadband in Europe for All) interdiszciplináris kutatási projekt, amely egyaránt átfogja a kérdéskör szociális, gazdasági, szabályozási és technológiai részterületét.
- A MUSE (MULtiService access Everywhere) a szolgáltatási hálózatok kapacitásának jelentős bővítését és univerzális alkalmazási módját kutatja.
- A vezeték nélküli szélesávú elérés témakörében kíván eredményeket elérni a BROADWAN project.
- Az Internet európai szegmensének fejlesztését és a gerinchálózati sávszélesség bővítését kutatja a COCOMBINE (COntents, COmpetition and Broadband for the INternet in Europe), ez a projekt a konvergencia jegyében már kiterjed a tartalom-előállítási kérdésekre is.
- Speciális területre, az erősáramú hálózaton keresztüli szélesávú információszállításra koncentrálnak az OPERA (OPen PLC European Research Alliance) projekt.

Nagy jelentőségük van az optoelektronikai és a fotonikai kutatásoknak is, amelyek nagysebességű hálózatok menedzselésére és új hálózati technológiák kialakítására, illetve tesztelésére irányulnak:

- Az FP6 FUNFACS (FUNdamentals, Functionalities and Applications of Cavity Solitons) projektje a fényhullámokat csapdába ejteni képes üregek – úgynevezett üreg-szolitónok – tulajdonságait használja fel és ezek segítségével dolgoz ki optikai tárolásra és adatfeldolgozásra alkalmas elveket.
- Az FP7 keretében újonnan induló GIGAWAM projekt nagysebességű előfizetői hozzáférések kutatásával foglalkozik és a WDM-PON (Wavelength Division Multiplexing – Passsive Optical Network) technológiával szándékozik 1 Gbit/s sebességű optikai elérést biztosítani a háztartások számára.

¹⁸ A '90-es évek elején a kísérletezők körülbelül úgy érezhették magukat, mintha egyujjas kesztyűben kellett volna építeniük valamit mini-lego elemekből. Az utóbbi évtizedben azonban szinte évente jelennek meg új, egyre sikeresebb és hatékonyabb műszerek, eljárások, valamint nanoméretű eszközök, amelyekkel egyedi atomokat lehet előre kitűzött célok érdekében elrendezni és összekapcsolni.

- A BOOM projekt már Tbit/s sebességű jelfolyamok kapcsolásához állít elő Silicon-on-Insulation (SOI) technológiával készülő elemeket. Ekkora sebességeknél ugyanis már nem használhatók az elektronikus útválasztók, mert fogyasztásuk és hődisszipációjuk rendkívüli mértékben megemelkedik.
- Ezekon kívül kiterjedt kutatás folyik még az optikai átvitel további technológiai megoldásaira az EUROLABS projekt keretében, melyben öt ország, Belgium, Franciaország, Németország, Svájc és Magyarország vesz részt, utóbbit a BME képviseli.

Az Egyesült Államokban folyó kutatások közül az NSF (National Science Foundation) által életre hívott két keretkutatás, a GENI (Global Environment for Network Innovations) és a FIND (Future INternet Design) neve emelkedik ki. A GENI az új hálózati alkalmazásokkal kapcsolatos kutatásokra, míg a FIND a jelenlegi Internettől eltérő új, a kívánalmaknak jobban megfelelő globális hálózatok kialakítására koncentrál.

Hosszú távra, egészen 2020-ig tekint előre a japán Akari- (= halvány fény) projekt, amely az NGN (Next Generation Networks) utáni fejlődés, a NWGN (New Generation Networks) lehetőségeit kutatja. Ennek eredményeire visszatérünk a következő fejezetben.

3.2 A tárkapacitás bővítése

A tárkapacitás bővítéséért ez idő szerint háromféle technológia van versenyben:

- A hagyományos RAM táruk kapacitását a lapkasűrűség növelésével lehet bővíteni, a lehetőségeket a Moore-törvénnyel kapcsolatban már elemeztük.
2008. júliusában a MIT (Massachusetts Institute for Technology) bejelentése megdöntötte az eddigi rekordokat: 25 nm-es csíkszélesség és 25 nm-es hézag eléréséről számoltak be, ami alig több mint harmada a jelenleg kereskedelmi forgalomban levő lapkákon alkalmazottnak, miközben az Intel 2009. elejére csak a 32 nm-es technológia bevezetését ígérte. Az ITRS szerint a 25 nm-es technológia 2013-2015 körül válhat általánossá.¹⁹
- Újjelvűnek számítanak a *hibrid merevlemezek* (HHD); ezekben a hagyományos merevlemezzel (HDD) flash-memóriát²⁰ egyesítenek, amely kikapcsolás után is megőrzi a tárolt információt. A 2006. első negyedében bejelentett technikai újítás eredményeként 2008/1. negyedévben kerültek kereskedelmi forgalomba az első működő rendszerek.
A hibrid-rendszer energiatakarékos, mert a flash-tár feltöltődése folyamán lelassítható a merevlemez forgása, így 70-90 %-kal kisebb a teljesítményfelvétele a folyamatosan forgó változathoz képest. A flash-tár hátránya, hogy írási/olvasási sebessége kisebb a merevlemeznél, hozzáférési elérési ideje viszont sokkal rövidebb, így kisebb állományok beolvasásakor gyorsabb lehet. További hátrány, hogy „öregszik”: úgy becslik, hogy legfeljebb mintegy 100 000-szer írható újra. Szakértők szerint egy 160 GB-os merevlemez mellé legalább 4 GB-nyi flash-tárra volna szükség, hogy a hibrid rendszer érezhető előnyt jelentsen a felhasználás során – a jelenlegi rendszerek 256 MB-nál tartanak.²¹
- A harmadik módszer az úgynevezett „szilárd test” (solid state) felépítésű *külső merevlemezek* csatolása a számítógéphez; ilyenekből létrehoztak már 1 TB kapacitást is.²² Várhatóan további kapacitásnövekedés érhető el ilyen egységekből összeépített merevlemez-blokkokkal; ezek egyelőre csak a tervezőasztalokon

¹⁹ MIT Report, Cambridge (USA), 2008.07.10.

²⁰ A flash-memória speciális elektronikusan törölhető és programozható (**EEPROM**) elemekből, úgynevezett *kettős vezérlésű* tranzistorokból épül fel (bővebben lásd: en.wikipedia.org/wiki/Flash_memory#cite_ref-1).

²¹ www.hwsz.hu/hirek/34275/Samsung_Hitachi_Fujitsu_hibrid_merevlemez_flash_memoria.html

²² Az USB 2.0 csatlakozású egység belsejében egy 3,5 hüvelykes, azaz normál méretű, percenként 7200-as fordulatszámú merevlemez dolgozik, 32 megabájt gyorsítótárral megerősítve (www.ipon.hu/).

léteznek.²³

2007. júliusában holland kutatók jelentős áttörést értek el a merevlemezek egyik lehetséges jövőbeli technológiai alapját képező HAMR (Heat-Assisted Magnetic Recording) területén: speciális (vas, kobalt, gadolinium) ötvözetből készült lemezre sikerült lézer segítségével adatokat írniuk. A folyamat összesen 40 femtomásodperc (10^{-15} mp) alatt ment végbe, vagyis – azonos adatmennyiségre vetítve – mintegy százszor gyorsabban a mai merevlemezek írási sebességénél; miközben az adatsűrűség a ma elérhető mintegy 2,5 Gbit/cm² 3000-szerese 8 Tbit/cm² is lehet.²⁴

3.3 A számítási teljesítmény fokozása

Amint említettük, a lapkasűrűség növelésének előbb-utóbb határt szab a molekulák mérete, s így ezen az úton nem lesz tovább fokozható a műveleti sebesség. Ez a felismerés már jó negyedszázada ösztönzi a kutatókat *újelvvű* – új architektúrájú – számítástechnikai eszközök kifejlesztésére, amelyekben a műveleti sebesség fokozása összefonódik a tárkapacitás bővítésével.

A számítási teljesítmény fokozását számos projekt tűzte ki célul, ilyen például a molekuláris méretű logikai rendszereket alkalmazó MOLDYNLOGIC (Molecular Logic Machines) projekt is. A rengeteg elképzelést lényegében két csoportba lehet sorolni:

- A *biológiai* alapelvű eszközökben – erősen támaszkodva a molekuláris biológia eredményeire – az élő szervezetek működését modellezik vagy legalábbis innen merítenek ötleteket.
- A *kvantumfizikai* alapelvű számítástechnikai eszközökben viszont a nanotechnológia új és legújabb eredményeit hasznosítják. Ezekben *nanorészecskéket* – egyedi molekulákat és atomokat – „fognak be” informatikai feladatok megoldására.

3.3.1 Biológiai alapelvű számítógépek

3.3.1.2 Sejtes neurális hálózat

A sejtes neurális hálózat (Cellular Neural Network: CNN) az idegsejtek (neuronok) működését utánzó sejtautomata. Ebben a már említett méretcsökkentési és sebességnövelési korlátokat úgy hidalják át, hogy bonyolult előre- és visszacsatolási kapcsolatokat alakítanak a sejtek között, létrehozva egy egyszerű műveletek (például összeadás) végzésére képes analóg számítógépet.²⁵

A Roska Tamás által kifejlesztett eszközben a sejteket analóg fényérzékelők valósítják meg, és az érzékelő-mátrixot összeépítették egy hagyományos Neumann-elvű mikroprocesszorral. A CNN-UM számítógép (Cellular Neural Nonlinear - Universal Machine) egyesíti a nagy sebességű analóg előfeldolgozás és a tárolt programozás előnyeit.²⁶

A gép kísérleti példánya 64x64 mikroprocesszorból álló, 1 cm² területű integrált lapkán működik 1 W teljesítményfelvétellel, miközben számítási teljesítménye eléri a 9200 db Pentium processzorból felépülő 1,8 m² összfelületű 0,25 MW teljesítményigényű, hasonló feladatokat megoldó digitális

²³ Azonos kapacitású szilárdtest eszközöket jelentett be 2008/1. negyedévben a Seagate és az Asus is. (www.ipon.hu).

²⁴ www.hsw.hu/hirek/33749/merevlemez_hamr_heat_assisted_magnetic_recording_lezer_adatrogzites.html

²⁵ Emlékeztetünk rá, hogy az analóg számítógépek műveleti sebességét a jelterjedés sebessége határozza meg, ami megközelíti a fény sebességét.

²⁶ A hibrid számítógép ötlete ugyan nem új, de megvalósítását ebben a formában Roska Tamás gondolta ki, megalapítva ezzel egy új tudományág, az info-bionika művelésének alapvető eszközét. (Roska Tamás - Bálya Dávid - Csapodi Márton - Zarándy Ákos: *Analogikai celluláris számítógép*, Természet Világa 2000/2. különszám; lásd még <http://www.sulinet.hu/termeszetsvilaga/>). — A tudományág kialakulása és jövője iránt érdeklődőknek érdekes olvasmány Hámori József - Roska Tamás - Sajgó Szabolcs: *Agy, hit, számítógép* (Éghajlat Könyvkiadó, Budapest, 2004).

rendszerét.²⁷

A kutatások természetesen nem álltak le; a legújabb hazai eredményekről röviden a 7.2 pontban számolunk be.

3.3.1.2 DNS-számítógép

A DNS-számítógép nem más, mint úgynevezett *DNS-leves*, ami egyszálú DNS-molekulák – *DNS-szálak* – vizes oldata.²⁸ DNS molekulákkal első ízben Leonard Adleman oldott meg számítástechnikai feladatot 1994-ben.²⁹

A *DNS-számítógép* működésének alapfeltétele, hogy korlátlan mennyiségű molekula álljon rendelkezésre, ami teljesíthető *sokszorozó eljárásokkal*. A lehetséges nagyfokú párhuzamosítás révén izraeli kutatók egy kísérleti DNS-számítógépen – amely 120 ml-nyi térfogatban 1 billió (10^{12}) DNS-szálból állt – 1 milliárd (10^9) művelet/mp sebességet értek el 99.98 %-os megbízhatósággal, 10^{-10} W fogyasztás mellett.³⁰

Egy konkrét feladat megoldására szolgáló levesben a mesterségesen előállított DNS-szálak a műveletekben szereplő változók összességét reprezentálják. A levesből biokémiai műveletekkel „halásszák ki” a megoldást „hordozó” szálakat s ezek elemzésével állapítják meg az eredményt.³¹

Ez idő szerint a DNS-számítógépek logikai jellegű – gráfokkal leírható, logikai változókkal megfogalmazható – feladatokat tudnak megoldani, vagyis elvben programozhatók, de nem univerzálisak. Mivel várhatóan olcsók lesznek és fantasztikus párhuzamosságuk révén hatékonyan képesek megoldani olyan feladatokat is, amelyek hagyományos számítógépeken nem vagy csak exponenciális időigénnyel oldhatók meg, számítani lehet alkalmazási területeik széles körű bővülésére. Ilyenek például a kombinatorikai és kriptográfiai feladatok, mesterséges intelligencia programozása, biokémiai (genom) kutatások, orvosi diagnosztika és a gyógyszerkutatás, de nagy hatással lesznek az élettani, az orvoslástani és a mezőgazdasági (génkezelt növények) kutatásokra is. A kifejlesztésükre irányuló megfeszített fejlesztői munkát hajtják a világ egészségügyi és élelmiszer-termelési gondjai is.

Az élő sejtek működésének és felépítésének közvetlen manipulálása révén merőben új gyógyászati eljárások születhetnek – például megszüntethetők lesznek egyes betegségek –, de létrejöhetnek emberalkotta „szuperlények” – növények, állatok, sőt emberek is!

3.3.1.3 Membrán-számítógép

A membrán-számítástechnika elveit Gheorghe Păun dolgozta ki az élő szervezetek működési módjainak modellezésével. Az általa megtervezett membrán-számítógépek gyakorlatban is kipróbált speciális változatait *P-rendszereknek* nevezik.³²

A sejtyszerű P-rendszer (SPR) a sejtthártyáknak megfelelő, hierarchikusan egymásba ágyazott

²⁷ Csak példaképpen: a kísérletekben 50 000 kép/mp képváltási sebességet értek el sötétben, esőben leszálló repülőgép navigációjának elemzésekor. Folyamatban van 256x256 mikroprocesszoros lapka kifejlesztése; amelynek egyik legígéretesebb alkalmazásaként retina-protézis kifejlesztését tervezik.

²⁸ Ismeretes, hogy a természetben a DNS két azonos szálból áll, amelyeket négyféle *nukleotid* bázis (A: adenin, C: citozin, G: guanin és T: timin) alkot, s ezek úgy kapcsolják össze a két szálát, mint létrát a fokai. A kapcsolódás a komplementer párok (A -T, illetve G - C) között jön létre, a létra pedig hossz tengelye körül megcsavarodik, így alakul ki a nevezetes kettősspirál. — A DNS-szál génekre osztható, ezek nukleotid - hármasokból, úgynevezett *tripletek*ből állnak, amelyek egy-egy aminosavat kódolnak, a gén „végrehajtása” során pedig ezekből egy-egy fehérjemolekula épül fel.

²⁹ Leonard M. Adleman: *Molecular Computation of Solutions To Combinatorial Problems*, Science, 266: 1021-1024 (1994)

³⁰ Ehud Shapiro & al: *Programmable and autonomous computing machine made of biomolecules*; Nature 414, 430-434 (2001). — Megjegyezzük, hogy molekuláris méretei okán a DNS-számítógépet nanoeszköznek kell tekinteni.

³¹ Remco Loos - Benedek Nagy: *Parallelism in DNA and Membrane Computing*, Proceedings of Computability in Europe 2007: Computation and Logic in the Real World (Siena, Italy) pp. 283-287.

³² A P-rendszerek működési elveit és alkalmazási lehetőségeit elemző tanulmány: Gheorge Păun: *Computing with membranes*, Journal of Computer and System Sciences, 61(1) (2000), pp. 108-143.

membránokból áll, amelyek elválasztják egymástól a belsejüket alkotó régiókat (lásd az **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** ábrát). A legkülső membrán a héj, a rajta kívüli világ a környezet. Az összetett membránok régiójában további egy vagy több gyerekmembrán is van, az elemi membránokéban nincs. A régiók összetevői az objektumok és a (műveleti) szabályok.³³

Az SPR-számítógép két legfontosabb elvi jellemzője, hogy működése az egyes régiókban

- *nem-determinisztikus*: egyrészt az azonos objektumok között véletlenszerű a választás, másrészt a szabályok ugyancsak véletlenszerű sorrendben hajtódnak végre;
- *maximálisan párhuzamos*, ami azt jelenti, hogy egy számítási ütemben minden végrehajtható szabály (egyidejűleg) végrehajtható, méghozzá annyi példányban „megsokszorozódva”, ahányhoz indulásakor elegendő számú objektum áll rendelkezésre.

Az elvek pontosítása végett – no meg kíváncsiságból is, hogy egyáltalán működik-e a membrán-modell –, tucatnyi szimulációs rendszert fejlesztettek ki hagyományos nagy teljesítményű számítógépekre. Ezek – a szimbolikusan felépített membránrendszerben – a megadott szabályok szimulált végrehajtásával lejártszák az objektumok „áramlását” és megjelenítik az eredményt. P-rendszerek (szimulációs) fejlesztése intenzíven folyik, jószerivel havonta születnek újabb eredmények.³⁴

A nagyszámú szimulációs kísérlet egyértelműen igazolta, hogy az SPR-számítógép univerzális és – ha megengedjük a membránok korlátlan osztódását is – elvben minden feladat megoldására alkalmas, méghozzá már meglepően kis (1-2 membrános) kiépítésben.

Fontos eredmény volt, amikor 2003-ban megépült egy korlátozott képességű hardver modell is.³⁵

Membrán-számítógépekkel gazdaságosan lefedhető alkalmazási területek: *orvostudomány* (főleg rákbetegségek kifejlődésének elemzése), *számítógépes grafika* (a régiókkal könnyen megvalósítható többrétegű tervrajzok készítése), *nyelvészet* (itt a párhuzamos működés előnyeit használják ki a nyelvtani elemzésekben), *gazdaságirányítás* (rendezési és rangsorolási algoritmusok, valamint kétdimenziós táblázatok kezelése). A várakozásokat azok a rendszerek teljesítik, amelyek exponenciálisan tudják növelni erőforrásaikat.

3.3.2 Kvantumszámítógépek

3.3.2.1 Működési elvek

A kvantumszámítógép olyan kvantumfizikai rendszer, amelyben az egyes programlépéseknek a rendszer állapotváltozásai felelnek meg, az eredményt pedig a rendszer végállapota jeleníti meg. Az univerzális kvantumszámítógép elvi modelljét David Deutsch dolgozta ki.³⁶

A kvantumszámítógép alapeleme a *kubit* olyan kvantumrendszer, amelynek két meghatározott stabil (kvantum) *sajátállapota* van.³⁷ „Normális” világunktól eltérően azonban – ahol is

³³ A közelebbről nem meghatározott objektumok mindenkör egy-egy régióhoz tartoznak, s ezeken belül úgynevezett *multihalmazokat* alkotnak. Ezen az értendő, hogy egy-egy régióban többféle különböző típusú objektum és az azonos típusúakból több – ekvivalens, vagyis megkülönböztethetetlen – példány is lehet. Bonyolultabb rendszerekben – biokémiai analógia alapján – a membránokhoz elektromos töltést (- + 0) is hozzárendelnek.

³⁴ Bővebb információk találhatóak a P-rendszerekről a *P Systems Web Page* honlapon: <http://psystems.disco.unimib.it/>.

³⁵ Biljana Petreska - Christof Teuscher: *A Reconfigurable Hardware Membrane System*, in: *Lecture Notes in Computer Science*, Springer Verlag (2004), pp. 269-285.

³⁶ D. Deutsch elképzelése alapján Richard Feynman 1986-ban olyan kvantumszámítógépet írt le, amelyben kétállapotú atomokból álló két regiszter a tárat, illetve a programvezérlést valósítja meg. Lásd: Richard Feynman: *Quantum Mechanical Computers*, *Foundations of Physics*, Vol. 16. (1986), pp. 507-531.

³⁷ Tipikus ilyen rendszerek a fermionok, amelyek spinje két lehetséges értéket vehet fel; de ilyen többek között a foton két egymásra merőlegesen polarizált állapota vagy egyes atommagok (például a H, vagy a ¹³C szénizotóp) mágneses magspinje is.

valamely kétállapotú elem vagy az egyik (0) vagy a másik (1) állapotában van –, a kubit *egyszerre* birtokolja mindkét lehetséges sajátállapotának *szuperpozícióját*, mindaddig, amíg energetikailag el van szigetelve a külvilágtól. Bármely állapotméréssel szükségképpen együtt járó energiacsere hatására viszont bizonyos valószínűséggel „belefagy” egyik stabil állapotába s ezt észleljük. A *kvantumregiszter* úgynevezett *összefonódott* (entangled) kubitekből áll, amelyek szuperponált állapotban vannak; egy 8-kubites regiszter például egyszerre 256 félében!³⁸

Az összefonódást megtartó *reverzibilis* állapotváltozásokat *kvantumlogikai kapuk* hajtják végre egyes kubiteken vagy kubitek egy csoportján, az eszköz fizikai tulajdonságai által meghatározott idő alatt.

3.3.2.2 Gyakorlati megvalósítások

A jelenleg folyó kísérletekben elektromágneses terekkel keltett úgynevezett *ioncsapdákkal*³⁹, illetve mesterségesen létrehozott *speciális molekulákkal* hoznak létre kvantumregisztereket. Első ízben 2003-ban mutattak be működő kvantumszámítógépet az IBM almadeni kutatólaboratóriumában: speciális kloroform-molekulában⁴⁰ 2 szén- és 5 fluóratom magspinjét sikerült összefonniuk. Egy NMR-készülék kísérleti folyadéktartályban mintegy 10^{18} molekulát vezéreltek váltakozó mágneses terekkel. A 7-kubites „gépen” a nevezetes Shor-algoritmust „futtatták” és sikeresen meghatározták 15 két törzstényezőjét.⁴¹ A jövőben nagy szerephez juthatnak az erőtér-csatolású nanoeszközök, köztük az úgynevezett *kvantumpötty* (quantum dot) sejtautomaták, amelyek az eddigi kvantumszámítógépektől eltérően szilárd halmazállapotúak. Ezekben egymáshoz olyan közel kerülnek a nanorészecskék, hogy elektromos vagy mágneses erőterük létesíti közöttük a csatolást, miáltal feleslegessé válik a huzalos összeköttetés, lényegesen csökken a hőveszteség és növelhető az elemsűrűség.

A kvantumpötty úgy készül, hogy először fémponthozat helyeznek el szigetelő alaplapon, majd mindegyikre két elektront ültetnek, amelyek a lehető legtávolabb, egy átmérőn helyezkednek el. Ha egy elektronpárt külső erőterrel ellentétes állapotba „löknek át”, a hatás dominánszerűen terjed a szomszédos „pöttyökön” keresztül. Különböző hosszúságú sorozatok összecsatolásával elemi műveleteket (összeadás, szorzás) lehet végezni, de csak rendkívül alacsony ($\sim 0,01^\circ\text{K}$) hőmérsékleten.⁴²

Az eddig megvalósított kvantumszámítógépek felépítése esetleges, az alkalmazott technológiától függ.⁴³ Nyitott kérdés, hogyan lehetne az adatokat átmenetileg tárolni, illetve átvinni a kvantumregiszterek között, illetve hogyan lehetne kiolvasni az eredményt az összefonott állapot szétbomlása nélkül.⁴⁴

³⁸ Két összefonódott mikrorészecskének közös a hullámfüggvénye, miáltal egyikük állapotának megváltozása a másik állapotának komplementer megváltozását eredményezi, *függetlenül a köztük levő távolságtól*.

Antropomorf hasonlaltal élve: ha az egyiket megcsiklandozzák a másik is nevet. — A jelenséget már Einstein is észlelte és „kísérteties távolhatás”-nak (spooky action at a distance) nevezte.

³⁹ Ioncsapdát például úgy lehet megvalósítani, hogy mágneses térben szemben haladó lézersugarakkal állóhullámokat keltenek, így a térbe injektált ionok a csomópontokban helyezkednek el. (D. Stick et. al: *Ion Trap in a Semiconductor Chip*, Nature Physics 2 (2006), pp. 36-39.)

⁴⁰ A „normál” kloroformban ^{12}C szénizotóp van, ennek azonban nincs mágneses magspinje, ezért ^{13}C szénizotópokat tartalmazó kloroformot állítottak elő.

⁴¹ Az algoritmus összetett számok törzstényezőkre bontását írja le és csak kvantumszámítógépen futtatható. Lényege, hogy a felbontáshoz szükséges lépésszám a számjegyek n számával nem exponenciálisan, hanem csak polinomiálisan (pontosabban $n^2 \log n$ -nel arányosan) nő. Lásd Peter W. Shor: *Polynomial-Time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithms on a Quantum Computer*, SIAM Journal on Computing. October 1997. Vol. 26. pp. 1484-1509

⁴² A Notre Dame egyetemen (Indiana, USA) folyó kísérleteknek magyar tudós, Csurgay Árpád is aktív részese; lásd: Csurgay Árpád: *Áramkörelmélet a nanoelektronikában*, Magyar Tudomány, 2003/9. 1090-1095. oldal

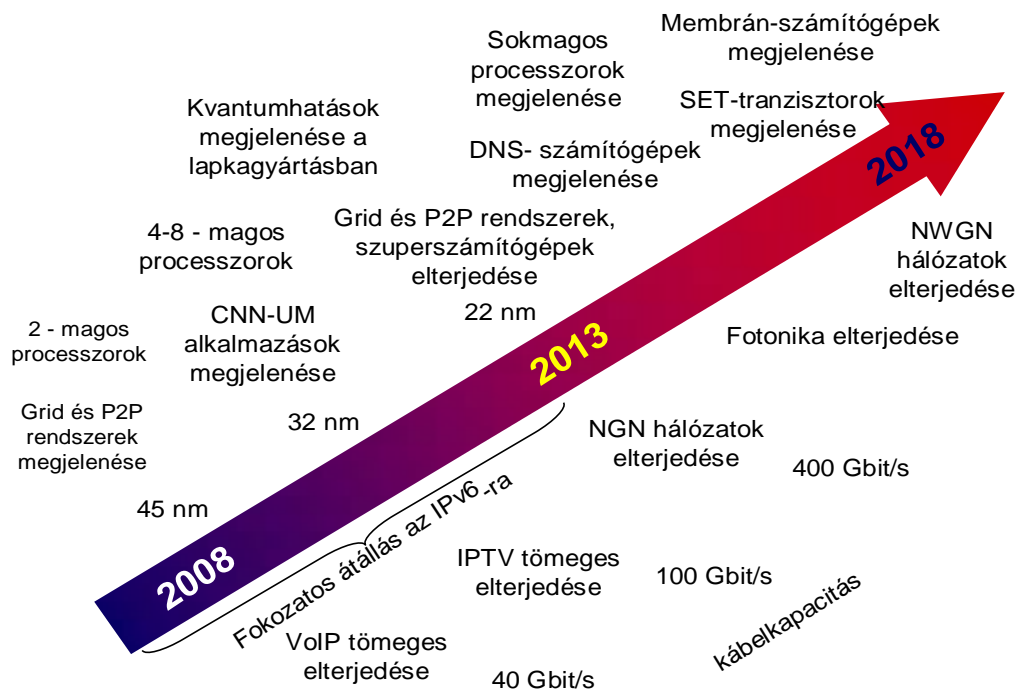
⁴³ Az Egyesült Államok, Új-Zéland és Németország szabványügyi intézete közösen dolgozik a kvantumszámítógépek hardver felépítésnek szabványosításán.

⁴⁴ Ez idő szerint az összefonott állapotot csak extrém körülmények között – szupererős mágneses térben ($> 10^4 \text{ T}$), igen alacsony hőmérsékleten ($< 0,01^\circ\text{K}$) – lehet fenntartani.

A nehézségek ellenére kvantumszámítógépek kifejlesztése és új kvantum-algoritmusok kidolgozása a kutatások homlokterében áll, jószerével hetente jelennek meg ígéretes eredményekről szóló beszámolók.⁴⁵

4. Várható fejlődés

A korlátlan informatika világában többé már nem asztali gépeken vagy laptopokon, kézi módszerekkel lépünk kapcsolatba a számítógépekkel. Egyfelől erőforrásaink nagy részét hálózatokon keresztül érjük el, másrészt hatalmas számítási teljesítmény lesz beágyazva fizikai környezetünkbe: élőlényekbe, gyógyszerekbe, falakba, bútorokba, ruházatba, szerszámokba, használati eszközökbe, játékokba stb. Olyan természetesen fogunk helyben hozzájutni az információkhoz, ahogyan ma a fizikai tárgyakat használjuk, és ez a kapcsolat passzívból fokozatosan egyre aktívabbá lesz. Röviden: az informatikai forradalom óriási befolyást gyakorol majd munkahelyeinkre és behatol féltve őrzött magánéletünkbe is. A várható fejlődés fontosabb csomópontjait a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra: Várható fejlődés 2008-2018

⁴⁵ Lásd: <http://www.qubit.org/> –The Centres for Quantum Computation at Oxford and Cambridge.

4.1 Hálózatok konvergenciája

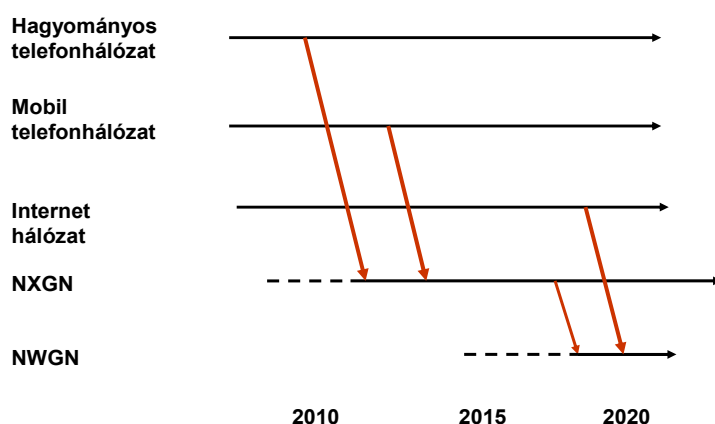
Az egyenletes fejlődés következtében minőségi változás következik be a hálózatok működésében, mivel az útvonalkapcsolók sebessége eléri azt a szintet, amelyen már alkalmasak a VoIP és az IPTV szolgáltatások nyújtására csomagkapcsolt üzemmódban. Ennek következtében először csak szórványosan, majd tömegméretekben is megjelenik az infokommunikációs piacon a VoIP alapú beszédátvitel-szolgáltatás és fokozatosan le fogja váltani a hagyományos, vonalkapcsolt telefonszolgáltatást. Ez a folyamat 10-15 éves időtávban zajlik le, tehát teljes mértékben átfedni a vizsgált időszakot.

Várhatóan 2010 körül jelennek meg erőteljesebben az IPTV alkalmazások, de mintaprojektekkel már jóval korábban is találkozhatunk. A mintaprojektek és kereskedelmi elterjedésük közötti viszonylag nagy időrést az IPv6 protokoll vártnál lassúbb elterjedése okozza.⁴⁶ Ennek a folyamatnak következménye a hálózatok konvergenciája és kézzelfogható jele az NGN megjelenése.

Hatalmas mennyiségű adatok mozgatása, feldolgozása és tárolása következtében minden bizonnyal új problémaként merül majd fel a környezet *információs szennyezése* is. A jelenséget éppen a sávszélesség, valamint a tárkapacitás korlátlanra és közel ingyenessé válása fogja előidézni, aminek következtében az egyedi felhasználók, de a szervezetek is képtelenek lesznek hatékonyan kezelni a feljük áramló adattömeget.

A korlátlan sávszélesség és -tárolókapacitás maga után vonja a hálózatok és a végberendezések viszonyának megváltozását, ezzel együtt pedig teljesen új szolgáltatások megjelenése és elterjedése is várható. Ahogy említettük, a tárkapacitás bővülése lehetővé teszi, hogy a felhasználó a számára érdekes és fontos adatokat saját számítógépének memóriájában tárolja, saját adatbázisként alakítsa ki.

Ugyanakkor a korlátlan sávszélesség és az állandó, szinte ingyenes hálózati hozzáférés lehetősége ellenkező irányú folyamatot is gerjeszt: a hálózaton keresztül elérhető nagy teljesítményű szerverek tárait ugyanis ki-ki saját tárként használhatja, vagyis megvalósulhat a "hálózat maga a számítógép" elv. Ennek a jelenségnek hatása lesz az alkalmazásokra is: a fejlődés révén lehetőségünk nyílik adattárolási célra igénybe venni távoli szervereket, amelyekhez csak szükség esetén fordulunk. Egy-egy alkalmazás már ma is működik, ilyen például a Google központi-táras levelező rendszere.



4. ábra: Hálózatok konvergenciája az Akari-projekt szerint

A japán Akari-projekt kutatásai szerint az NGN megjelenése ugyan létrehozza a szolgáltatói hálózatok konvergenciáját, tehát az NGN részévé válik a hagyományos telefon és a

⁴⁶ Az IPv6 az IP 6-os számú verziója, amely 128 bites csomagcímeket használ.

mobiltelefon egyaránt, a folyamatnak azonban ezzel nem lesz vége. Megjelenik majd a New Generation Networks (NWGN) és az akkorra már mind a hagyományosnak mondott NGN (amit a projekt NXGN-nek nevez), mind az Internet ebben az új hálózatban fog egyesülni.⁴⁷ Ennek a hálózatnak a megjelenését 2018-2020-ra teszik, tehát éppen a jelen technológiai áttekintés időhorizontjának a távoli végére (lásd a 0. ábrát).

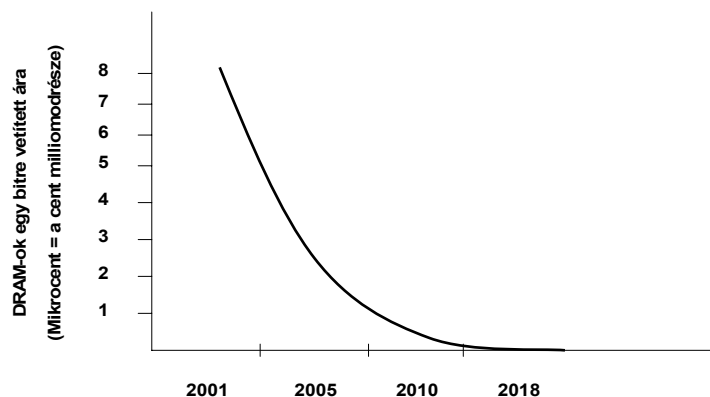
4.2 A számítási teljesítmény hagyományos növelése

4.2.1 A műveleti sebesség fokozása

A vizsgált időszakban annyiban lehet számolni a Moore-törvény érvényességével, amennyiben figyelembe vesszük, hogy nem elsősorban a lapkasűrűség növekedése, hanem inkább a többmagos processzorok megjelenése és a belső párhuzamos szervezés együttese teszi lehetővé a műveleti sebesség fokozását. Ennek figyelembe vételével kimondhatjuk, hogy a műveleti sebesség növekedési lehetőségei a *nanotechnika* révén legalább 10 évre adottak. A fejlődés *egyik* eredménye tehát, hogy a sáv szélességgel együtt a tárkapacitás és a műveleti sebesség is exponenciálisan növekszik.

A Moore-törvénnyel kapcsolatban meg kell említenünk, hogy a méretcsökkentésnek áthághatatlan küszöb, nevezetesen a molekulák mérete szab majd határt.⁴⁸ Tíz éve még az volt az általános vélemény, hogy a vezetősík-szélesség elérhető alsó határa 100 nm körül van, ezzel szemben 2005 ősszén az Intel és a Fairchild megkezdte 65 nm csíkszélességű lapkák kísérleti gyártását és 5 éven belül tervezik az áttérést 45 nm csíkszélességre.

Valójában nincs is gond a csíkszélességgel, hiszen litográfias gyártástechnológiával akár molekula-méretű áramköri elemek is készíthetők. Amikor a kapuszélesség⁴⁹ 1-2 nm-re, azaz néhány molekula méretére csökken, már nem a klasszikus, hanem a kvantumfizika törvényei érvényesülnek, így az áramkörök működése – a szivárgási áramok statisztikus ingadozásai miatt – megbízhatatlanná válik.



5.ábra: DRAM áramkörökre vonatkozó árbecslés

A DRAM áramkörökre vonatkozó árazási előrejelzés az 5. ábrán látható. Eszerint 2018-ra a DRAM elemek ára a jelenleginek 1/100 részére csökken. Egyenletesen nő tovább a sáv szélesség is mind technológiai, mind előfizetői elterjedtség értelemben.

⁴⁷ Lásd az IT3 „Újgenerációs hálózatok” című mélyfúrás részletes elemzését.

⁴⁸ A molekulák méretének nagyságrendje 10 nm = 10⁻⁸ m, az atomoké és az elektronoké 1-2 nm.

⁴⁹ Közismert, hogy a tranzisztorok három félvezető-rétegből épülnek fel, amelyek közül kettő (az úgynevezett *emitter*, illetve *kollektor*) azonos (vagy p- vagy n) típusú, a kettőjük közé „szorított” és a tulajdonképpeni működést lehetővé tevő „kapu”, az úgynevezett *bázis*-réteg ezzel ellenkező (n, illetve p) típusú.

Másik nem lebecsülendő eredmény az egységáraknak – az egységnyi sávszélesség (1 \$/bit/s), az egységnyi tárcapacitás (1 \$/bit), illetve az egységnyi műveleti sebesség (1 \$/flop/s) árának – drasztikus csökkenése. Ennek következtében jelentősen megnőhet mind az átvitt adatmennyiség, mind a tárolási képesség, mind pedig a hálózatoknak és a az eredetinek számító változat nyilvántartása, mind az anyaforrás felderítése.

4.2.2 Nanotechnikai eszközök alkalmazása

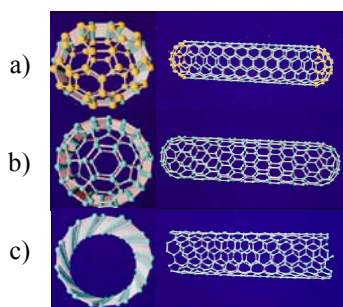
Bár az „egy elektron” (SET) tranzisztorok csak 2017 táján lesznek működőképesek, már 2012 körül fellépnek kvantumhatások a lapkagyártásban, ami szükségessé teheti az elvek átgondolását. Mindenesetre már a vizsgált időszakban várható, hogy a hagyományos számítógépekben is alkalmaznak olyan informatikai eszközöket a tárcapacitás bővítésére és a műveleti sebesség fokozására, amelyeket nanotechnikai eljárásokkal hoznak létre és a maiaktól eltérő elveken működnek; ezek közül mutatunk be néhányat.

4.2.2.1 Memrisztor

Valószínűleg forradalmi változásokat fog hozni az adattárolásban az emlékező-memóriaelem, a *memrisztor*.⁵⁰ A 100-150 nm méretű eszköz a számítógép kikapcsolása után is megőrzi a legutoljára beírt adattartalmat, ami visszakapcsoláskor azonnal rendelkezésre áll, miáltal például feleslegessé válik a számítógépekben a betöltési (inicializálási) procedúra. Az eszköz előnye a jelenleg használatos RAM elemekkel szemben, hogy nagyságrendekkel gyorsabb és olcsóbb, valamint fogyasztása – és ezzel hőtermelése – is lényegesen kisebb. Továbbfejlesztett változatai feltehetőleg kiválóan alkalmazhatók lesznek többek között neurális számítógépekben vagy biológiai folyamatok szimulálására, illetve a gyógyászatban: például károsodott agyterületek pótlására.⁵¹

4.2.2.2 Szén nanocsövek

A nanotechnikai kutatási-fejlesztési tevékenység során felfedezett szén-nanocsövek (Carbon Nano Tubes, CNT) forradalmi változásokat hoztak az integrált áramkörök gyártásában⁵²; kiemelhető például a CANDICE (CARbon Nanotube Devices for Integrated Circuit Engineering) projekt.



Az egyenes egyfalú szén-nanocső úgy keletkezik, hogy egy 1 atomnyi „vastagságú” grafitréteget – ez tulajdonképpen hatszögös rendszerben összekapcsolódó szénatomok hálója – megfelelő technikával hengerré csavarnak.⁵³ A háló és a cső tengelyének hajlásszöge szerint háromféle csőtípus keletkezik: a „karosszék”, a „cikk-cakk” és a „csavarodott” (lásd a 9. ábrán a), b), illetve c)). A „hálószerkezet” térbeli elhelyezkedésétől függően előállíthatók fémes vagy félvezető tulajdonságú nanocsövek, de kialakítható fém-félvezető átmenet is, ami diódként viselkedik.

6. ábra: Szén nanocsövek

A nano-számítógépek új világának építőkövei azok a félvezető szén-

⁵⁰ Az elnevezés a *memory* és a *resistor* szó összevonásával keletkezett. Az elvet 37 éve dolgozta ki Leon Chua az UCB kutatómérnöke; megvalósítását 2008. elején jelentette be Stanley Williams, a HP kutatómérnöke (Nature, 2008. május).

⁵¹ Mivel a memrisztor működése nemlineáris, nemcsak a két alapállapotot (bekapcsolt - kikapcsolt) hanem köztes állapotokat is képes tárolni. Ennek révén ez idő szerint még beláthatatlan jelentőségre tehet szert *ternáris* (háromállapotú) számítógépekben, amelyek egyelőre még csak „tervezői álmok” szintjén léteznek.

⁵² A szén-nanocsöveket 1991-ben fedezte fel Sumio Iijama japán kutatómérnök. — A szén-nanocsövek alkalmazási területeit a *Nanoelektronika* mélyfúrás (A4) is elemzi. Felépítésükről részletesebben a Magyar Tudomány 2003/9. számában olvashatunk.

⁵³ A szén-nanocsövek átlagos külső átmérője 1,2 – 1,4 nm, a belső lyuk átmérője $\approx 0,7$ nm, a cső hossza 10 nm-től ma már 3-4 mm-ig terjedhet. Elektromos és hővezetési tulajdonságaik erősen függenek fizikai jellemzőiktől (átmérő, hosszúság, csavarodás), emiatt adott paraméterű típusok sorozatgyártása még megoldandó feladat..

nanocsövek lesznek, amelyekben p-n átmenet jön létre; ilyenekből Almadenben (IBM kutatólaboratórium) már 2001-ben sikerült létrehozni tranzisztor-mátrixot egy félvezető alaplapon.⁵⁴ 2006. elején pedig két japán és egy amerikai kutatócsoport jelentette be nagy megbízhatóságú egyedi szén-nanocső tranzisztor kifejlesztését.⁵⁵

A kutatások egyre mélyebben feltárják a szén-nanocsövek fizikai működésének részleteit, így komoly remény van rá, hogy mire a jelenlegi gyártástechnológia elérkezik a Moore-törvénnyel kapcsolatban említett végső határokhoz, addigra nanocső-lapkákkal kiválthatók lesznek a jelenlegi áramkörök.⁵⁶

4.2.2.3 3D processzorok

A számítási teljesítmény növelésére a nagy számítástechnikai cégek (IBM, Intel stb.) régóta kísérleteznek a háromdimenziós (3D) processzor kifejlesztésével. Szemben a ma uralkodó síklapkás technológiákkal, ekkor a processzormagok és az egyéb alkatrészek térben helyezkednek el, nem csak egymás mellett, hanem egymás alatt és felett is.

Így jelentősen fokozható a műveleti sebesség, miközben csökken a fogyasztás és az adatátviteli idővesztés, egyszersmind százszorosára növelhető az áramkör bonyolultsága. A technológia legérzékenyebb pontja a hűtés, mert meglehetősen nehéz elvezetni a termelődő hőt egy processzormagról, ha azt minden irányban további processzormagok veszik körül.

Az IBM és a Fraunhofer Institute mérnökei úgy oldották meg a problémát, hogy rétegekre osztották a háromdimenziós felépítésű processzort és a rétegek közötti 100 μ szélességű résekbe hűtővizet vezettek (lásd a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** ábrát). Az egyes rétegeket nanocsövek kötik össze, hogy a hűtővíz minél nagyobb felületen érje el a processzormagokat. A prototípusban 10 000 nanocső van cm^2 -enként, amelyek hőelvezető képessége 180 watt/cm^2 , ami óriási technológiai bravúr.⁵⁷

4.2.2.4 Grid-számítástechnika

A grid-számítástechnika célja igen nagy számítási teljesítmény létrehozása, amely bármikor és bárhol hozzáférhető. A megvalósítás lényege, hogy (bármilyen) létező hálózatokon egyedi számítógépek kapcsolódnak össze egyetlen *virtuális szuperszámítógéppé*. Ezáltal egyrészt a felhasználó rendelkezik egy szuperszámítógép számítási teljesítményével – annak szuperköltségei nélkül –, másrészt hasznosul a számítógépek különben kihasználatlan teljesítménye.⁵⁸ A grid-számítástechnika létrejöttében komoly szerepe van a hálózati sáv szélesség megnövekedésének, aminek révén akár nagyobb földrajzi kiterjedésű grid-hálózatok is létrejöhetnek.⁵⁹

Számos vezető számítástechnikai cég – IBM (On Demand Computing), HP (Utility Computing), Sun, Oracle stb. – kínál már ma grid-jellegű hálózati (webes) hozzáférést létező óriásgépes rendszereihez, mások pedig – Yahoo!, Microsoft stb. – elosztott hálózataikhoz. Ezek igénybevételét azonban erősen korlátozza, hogy igen nehéz és költséges kifejleszteni rájuk egyedi alkalmazási rendszereket.

A Google úgy kerüli meg ezt a problémát, hogy több ezernyi gépből álló elosztott, terhelés-kiegyenlített

⁵⁴ Az „összenöve” keletkezett fém és a félvezető típusok szétválasztására szellemes eljárást dolgoztak ki. Ennek lényege, hogy egy szilíciumoxid alaplapon „vegyes” nanocső-köteget alakítanak ki, majd litográfiai eljárással vezető maszkot hoznak létre a fém tulajdonságuk felett. Ezután – másik elektródának az alaplapot használva – megfelelő feszültséggel kiégetik a fémeket, miközben a nanocső-tranzisztorok sértetlenül megmaradnak. (IBM Research Journal, 2001.04.27)

⁵⁵ AIST Report, 2006.02.28; www.aist.go.jp/aist_e/latest_research

⁵⁶ A szén-nanocsövek átlagos mechanikai tulajdonságai is elképesztőek: szakítószilárdságuk például az acélénak 200-szorosa (egy 5000 km hosszú nanocső elbírná saját földi súlyát!) és olyan rugalmasak, hogy akár 180°-ban is hajlíthatók anélkül, hogy eltömréneek.

⁵⁷ <http://arstechnica.com/news.ars.post/20080605-ibm-demonstrates-water-cooling-for-3d-processors.html>

⁵⁸ Egy 2005-ös DARPA felmérés szerint a létező erőforrások számítási teljesítményének csak egy töredéke hasznosul közvetlenül. A nagy számítási teljesítmény úgy jön létre, hogy felderítik és kiaknázzák a hálózat egyes számítógépeinek kihasználatlan időszakait.

⁵⁹ Grid-rendszerek felépítésével, programozásával és alkalmazásaikkal részletesen foglalkozik a *Közműszerű IT-szolgáltatás* című mélyfúrás.

hálózatán egyfelől csak videofilmek szabad tárolását és korlátlan levelező tárkapacitást, másfelől professzionális célrendszerének, a Google Earth-nek⁶⁰ szabad használatát kínálja a felhasználóknak.

4.3 Új elvű számítógépek megjelenése

Várható, hogy beérik az exponenciális fejlődés egyik-másik gyümölcse és 2015 - 2020 között üzembe állnak az említett CNN-UM-hez hasonló analóg-digitális hibridek.

Ugyancsak ebben az időszakban lehet számítani gyakorlatban is működő DNS-számítógépek első megjelenésére; „sorozatgyártásukra” néhány évvel később kerülhet sor. Egyes szakértők úgy tartják, hogy ezek a jövőben társ-számítógépként fognak együttműködni hagyományos számítógépekkel.⁶¹

A P-rendszerek gyakorlati megjelenése attól függően várható, hogy sikerül-e elfogadható árú és sebességű hardver eszközökkel megoldani az eredetileg tervezett párhuzamos működést.

Mai előrejelzések ismeretében viszont aligha valószínű, hogy a vizsgált időszakban kikerülhet a laboratóriumokból a kvantumszámítógépek bármilyen típusa; szupergyors – legalább peta-, a vágyak szerint exaflopos (10^{18} művelet/mp) műveleti sebességű – változatok létrehozásának ugyanis ez idő szerint megvalósíthatatlan feltétele legalább 30-50 kubit hosszúságú kvantumregiszterek létrehozása.⁶²

5. Befolyásoló tényezők

5.1 Technológia

5.1.1 Hardver

A sávszélesség növekedését hosszú távon az egyre nagyobb kapacitású egy-, illetve sokmódusú optikai szálak, illetve a hullámhossz-multiplexelés – DWDM technológia – fejlődése teszi még lehetővé. Ezzel párhuzamosan fejlődik az optikai végberendezések világa is és várhatóan öt éven belül megjelennek a piacon az optikai csatolók, illetve a fotonika fejlesztési eredményei is. Mindezek egyensúlyt teremtenek a sávszélesség növekedése és a növekvő feldolgozási igények között, ugyanis a fotonika eszköztára nagyobb határsebességeken képes teljesíteni a működési feltételeket.

A hálózatok szintjén az útvonalkapcsolók teljesítménynek további növekedése a feltétele, hogy át lehessen térni a vonalkapcsolt hálózatokról a csomagkapcsolt rendszerekre. Ez teremti meg a lehetőségét valós idejű információk IP alapú átvitelének, elsősorban a VoIP technológia és az IPTV elterjedésének. További feltétel az IPv6 protokoll általánossá válása a hálózatban, amire egyrészt a jelenlegi címzési rendszer szűkös volta miatt, másrészt a hatékony multicast képességek bevezetése miatt van szükség.

A tárolókapacitás további bővülésének szükséges feltétele a nanotechnika fejlődése, a félvezetőgyártás trendjeinek töretlen folytatódása. Ám amint említettük, a csíkszélesség nem mehet a molekulák mérete alá, ezért a lapkasűrűség növelésére más módszereket (Teraflopp kiegészítése tárlapkéval, 3D elrendezés, szén-nanocső tranzisztor, esetleg memrisztor stb.) kell kidolgozni.

A számítási teljesítmény növelése a „korlátlanág” irányába tulajdonképpen elképzelhető hagyományos utakon is – grid-rendszerek, szuperszámítógépek –, ám ehhez nem elegendő a korlátlan sávszélesség, jelentősen meg kell növelni a hálózatok megbízhatóságát.

⁶⁰ A Google Earth a föld bármely pontjáról ad igen nagy felbontású térképet, kiegészítve rugalmas kereső és megjelenítő, valamint útvonal-generáló és távolság-meghatározó funkciókkal.

⁶¹ T. Head, X. Chen, M. Yamamura and S. Gal: *Aqueous computing: a survey with an invitation to participate*, J. Computer Sci. & Tech. 17, 672-681 (2002)

⁶² A ciklusidőt ugyan alapvetően a spinek átfordulási ideje (~néhány μ s) határozza meg, viszont egy kvantumregiszter minden kubitjének spinje egyidejűleg billen (vagy nem billen). Így az elérhető műveleti sebesség attól függ, hogy a kvantumregiszterek hány kubitból állnak, vagyis hogy egyidejűleg hány állapotot reprezentálnak; következésképpen csak 50-100 kubitest kvantumregiszterekkel lehet elérni a kívánatos műveleti sebességeket. Az eddigi kísérletekben megvalósított maximális regiszterhossz 12 kubit.

5.1.2 Szoftver: párhuzamos programozás

Tekintve, hogy a jövőt – bármilyen modellben gondolkodunk is – párhuzamos architektúrájú hardver eszközök fogják uralni, amelyeken akár ezernyi programszál is futhat egyidejűleg. A hagyományos számítógépek teljes párhuzamosságát biztosan nem lehet kihasználni mai programozási technikákkal, ilyen mértékű párhuzamosság kezelése alapvető szemléletváltást jelent a jelenlegi programozási elvekhez és módszerekhez képest. Ezért elengedhetetlen új programozási paradigmák kidolgozása és a megvalósításukhoz szükséges újjelvű párhuzamos programozási fejlesztőrendszerek létrehozása. A ma létező fejlesztőrendszerek körülbelül ott tartanak, ahol a hardver technológia a '80-as években, amikor áramkörtől elemekből („utasítások”) IC-eket („programmodulok”) gyártottak; de a „processzorszint” még nagyon messze van. Ehhez át kell lépni a mesterséges intelligencia (MI) világába, ki kell dolgozni programozói *szakértő-rendszereket*, amelyek képesek automatikusan vagy legalábbis automatizáltan (interaktív emberi beavatkozással) megkeresni „előregyártott” készletekből egy algoritmusnak leginkább megfelelő modulokat és ezekből összeépíteni a párhuzamosan futtatható több száz vagy ezer programszálát, egyidejűleg figyelve a hardver rendszer lehetőségeire is.⁶³

Hasonlóan működő, de egészen más „képességű” szakértő rendszereket kell kidolgozni az újjelvű számítógépek programozásához, mert ezek működésmódja merőben eltér a neumann elvektől. Szójátékkal élve azt mondhatjuk, hogy *újjelvű programozókra* lesz szükség; egyelőre azonban csak a megfelelő tudás körvonalazására történnek kísérletek.

Nem kevésbé fontos az alkalmazói szemléletváltás. Nemcsak arról van szó, hogy a korlátlan rendelkezésre álló erőforrások újabb lehetőségeket kínálnak a fejlesztőknek és a szolgáltatóknak, hanem még inkább arról, hogy az igényeket is hozzá kell igazítani ezekhez a lehetőségekhez.

Egy DNS-számítógép nyilvánvalóan nem való adatbányászatra – ehhez DNS-szálakba kellene kódolni az egész adatbázist –, de kiválóan alkalmas lehet több száz paraméteres termelési feladatok optimalizálására vagy időjárás-előrejelzésre egy hasonló méretű modellből.

Az alkalmazások a végberendezések helyett egyre inkább távoli szervereken vagy éppen magán a hálózaton fognak futni, amihez ugyancsak speciális technológiákat kell kidolgozni.

5.2 Gazdaság

Világunk globalizálódása előrevetíti, illetve táplálja a korlátlan informatika iránti igényeket: a távoli kapcsolatok kialakításához és fenntartásához szükséges az adatforgalmi hálózatok terjeszkedése és a sáv szélesség növelése, a megoldandó feladatok komplexebbé válása és az elvárt válaszidő rövidülése pedig megkívánja a számítási teljesítmény fokozását, amihez elengedhetetlen a tárkapacitás bővülése is, hiszen a feltartóztathatatlanul duzzadó adatállományokat csak egyre nagyobb táruk tudják befogadni és kezelni.

Látnunk kell azonban azt is, hogy míg ezen igények egy részét a természetes és észszerű fejlődés generálja, más részüket mesterségesen gerjesztik az olyan reklámok, amelyek célja nem valós igények kielégítése, hanem az üzleti haszon racionálisan nem indokolható növelése.

Egyfelől tehát el kell fogadnunk, hogy az igények fokozatosan nőnek

- mind a közéletben (tudományos műhelyek, nemzetközi jelentőségű kutatóközpontok, valós szükségleteket kielégítő (akár multinacionális) vállalkozások, kormányzati, közigazgatási és egészségügyi intézmények stb. részéről),
- mind a magánszférában (fajunk, a „homo ludens” szeret játszani és szórakozni, miközben hajlamos „divatok” követésére, valamint presztízs-beruházásokra),

⁶³ A szakértő rendszerekben a problématerületet explicit módon leíró ismereteket a rendszer többi részétől elkülönített komponensben, az úgynevezett *ismeretbázisban* tárolják, amihez szervesen hozzátartozik a benne tárolt ismeretanyagot a feladatmegoldás során működtető *következtető* program.

7.ábra: A korlátlan informatikai fejlődést befolyásoló tényezők pedig – végességük miatt – más területekről kell elvenni a forrásokat.

Veszélyeket rejt magában, továbbá a személyiségi jogok „korlátlan” (mert ellenőrizhetetlen) korlátozásának, az adat- és személyiséglopásnak, a bűnszövetkezetek megerősödésének lehetősége. Van azonban egy másik, nem elhanyagolható veszélyforrás is. Az átlagpolgár számára az informatika eszköztárának bővülését leginkább a szabadidő eltöltését kellemesebbé tevő szórakoztatóipari kínálat – mi tagadás, sokszor csábító – bővülése jelenti. A valós igényeken alapuló, természetszerűleg bővülő keresletet azonban a reklámok gyakran – anyagilag is megterhelő – „divatkövető” vagy presztízs beruházásokba hajszolják. A szórakozás elgépiesedése mindenképpen nemkívánatos függőségek kialakulását, a természetes emberi kapcsolatok elszürkülését, a személyiség elsekélyesedését okozza. A vázolt folyamatok egymásra hatását vázlatosan a 0. ábra diagramja szemlélteti

6. Várható hatások

Kimondhatjuk, hogy a sávszélesség növekedése, a tárcapacitás bővülése és a műveleti sebesség fokozódása a következő 10-15 éves időszakban minőségi változásokat fog hozni hétköznapi életünkben.

6.1 Technológia

Abból kiindulva, hogy középtávon lényegében érvényben marad a három fejlődési törvény, kijelenthetjük, hogy a gyakorlatilag korlátlanul elérhetővé váló sávszélesség, tárolókapacitás és műveleti sebesség teljes mértékben átalakítja az IKT szektornak a társadalomban és a gazdasági folyamatokban betöltött szerepét. A korlátok relatív megszűnése kitágítja a hálózat-alapú társadalom lehetőségeit, átalakítja az infokommunikációs szolgáltatások értékláncát és teljessé teszi a hírközlés, az informatika, valamint a média konvergenciáját.

6.1.1 Korlátlan sávszélesség

A sávszélesség korlátlaná válása lényeges változásokat indukál a felhasználói szokásokba; ezek közül kettőt emelünk ki:

- Egyik, hogy előtérbe kerül a távoli számítógépek összekapcsolása, mivel a sávszélesség növekedése intenzívebb, mint a számítási teljesítményé. Ez a hatás a számítógépes grid-rendszerek fejlődését fogja eredményezni, bár a sávszélesség korlátlaná válása önmagában a [peer-to-peer](#) rendszerek számára is megnyitotta a lehetőségeket, így ezek tömeges elterjedése is várható.
- A másik hatás a valós idejű kommunikáció (interaktív beszéd, passzív és élő képátvitel stb.) csomagkapcsolt módú lebonyolítása, amire eddig csak vonalkapcsolt hálózatokon vagy bérelt vonalakon keresztül volt lehetőség. Megjelent és egyre inkább általánossá válik az IP alapú beszédátvitel a [VoIP](#), a jövőben pedig fokozatosan elterjednek az „ömlesztett” (stream alapú) interaktív médiatartalom szolgáltatások (például [IPTV](#)).

Az IP alapú átvitel általánossá válása jelentős hatással lesz a hálózatok konvergenciájára is. A tartalmak IP platformra helyezése szükségtelenné teszi az eltérő technológiájú hálózatok fenntartását, megkönnyíti a többfunkciós [NGN](#) hálózatok kialakulását és elterjedését. Ugyanakkor az IP hozzáférés általánossá, bárholnan elérhetővé válása elvezet a tartalomszolgáltatás átalakulásához, amikor is az információ naprakészen, helyfüggetlenül és eszközbarát módon jut el a fogyasztóhoz. Ezzel kiteljesedik a média és az infokommunikáció konvergenciája.

6.1.2 Korlátlan tárolókapacitás

A korlátlan tárolókapacitás elérése lehetővé teszi, hogy a lokális személyi számítógépes rendszereket fokozatosan kiváltsák a központosított alkalmazások és általánossá lesz a személyes adatok központi tárolása. Ezzel együtt hihetetlen mértékben felerősödik a személyes adatok koncentrált kezelésével kapcsolatos szabályozási igény, az adatok épségének, megbízhatóságának és biztonságának védelme érdekében.

Ezekkel a folyamatokkal párhuzamosan megnő mind a tartalom-előállító, mind a tartalomszerkesztők szerepe is, mert a tartalom az értékláncnak másik fontos elemévé válik, egyszersemind leértékelődik az infrastruktúra alapját képező transzparens bitszállítás. Az infokommunikációs értékláncok átalakulását éppen ezek a folyamatok fogják kiváltani. A hagyományos hálózati szolgáltatók igyekezni fognak magukhoz vonni az értéklánc további elemeit is annak érdekében, hogy meg tudják őrizni nyereségességüket, miközben az értéklánc felsőbb régióiban a kisebb cégek erősödő versenyével kell szembenézniük.

A jelenség egyik nagyon erőteljes példája lesz a hagyományos telefonszolgáltatók átalakulása a 2008-2018-as időszakban. A hagyományos távbeszélő hálózatokon nyújtott szolgáltatásokat egyre inkább kiszorítja a VoIP technológia, ahol a szélessávú hangátvitel a percdíjaktól teljesen eltérő díjazással működik. A hagyományos szolgáltatók reális lehetősége az IP hozzáférés bevezetése, amivel párhuzamosan várható az előfizetési díjak jelentős emelése, a percdíjak marginalizálódása esetleg teljes eltűnése mellett.

6.1.3 Korlátlan műveleti sebesség

A korlátlan informatika korának lényege, hogy az alkalmazásokat és a szükséges adatokat bármikor, bárhol, szinte bármilyen eszközzel el lehet érni. A „bárhol” ebben az értelemben a mobilitást és a személy jogosultságát jelenti, a "szinte bármilyen eszköz" pedig arra utal, hogy az eltérő tulajdonságú végberendezések nem képezik gátját a hozzáférésnek. Vagyis a korlátlan műveleti sebesség akkor jelenik meg értéként a felhasználói oldalon, ha mindenkor rendelkezésre áll a megfelelő sávszélesség, akár vezetékes, akár vezeték nélküli formában, még hozzá nemcsak a gerinchálózatokon, hanem a hozzáférési hálózatokon is. Ennek bekövetkezésével jelentősen megváltozik a világ, hiszen mindazok a lokális és globális alkalmazások, melyek fontos szerepet játszanak a társadalom életében és a gazdaságban, ettől kezdve megjelenhetnek a fogyasztói piac kínálati oldalán is; így várható a grid-rendszerek és a peer-to-peer kapcsolatok széles körű elterjedése.

A műveleti sebesség alig követhető fokozódása számítástechnikai krízishelyzetet is teremthet, mivel ez idő szerint nem ismeretes semmilyen módszer arra, hogyan lehet olyan alkalmazásokat létrehozni, amelyek kihasználják ezeket a jószerivel korlátlan lehetőségeket.

„Ha kitaláljuk, hogyan kell programozni többszáz-magos processzorokat, akkor rózsás jövőnek nézünk elébe, de ha nem találjuk ki, sötétek a kilátásaink” – nyilatkozta D. A. Patterson az UCB számítástudományi munkatársa. Ugyanő egy másik cikkében részletesen kifejtette, hogy ha nem sikerül áttörést elérni a sokmagos processzorok programozásában, az egy lapkán elhelyezhető magok számának fokozatos növelését hajszoló ipar fejjel megy a falnak, mert a több processzor nem jelenti automatikusan a hatékonyság növekedését. Justin R. Rattner, az Intel főtechnológusa lényegében osztotta ezt a véleményt, azzal, hogy a cég meggyőződése szerint a Teraflop kitűnő lehetőségeket kínál olyan, mesterséges intelligenciát igénylő számítástechnikai problémák megoldására, mint az alakfelismerés vagy az információ-kinyerés és -szintézis.⁶⁵

Ma még nem ismeretes biztos és egyértelmű feltételrendszer adott hardver eszközökhöz illeszkedő optimális párhuzamos programozási mód meghatározására. A jövőben a kormányok titkosszolgálati, az olajkitermelő, valamint a gépkocsi-, a repülőgép- és a gyógyszergyártó nemzetközi nagyvállalatok támasztanak majd mind nagyobb igényeket párhuzamosan futtatható alkalmazások iránt, hozzájuk csatlakoznak a médiatársaságok és a filmgyárak. Egyértelmű szakértői vélemény, hogy a sokmagos, nanoméretű processzorok feltartóztathatatlan elterjedésével a programozók előbb-utóbb kénytelenek lesznek

⁶⁵ Lásd a 10. jegyzetet

megtanulni, hogyan kell alkalmazásokat kifejleszteni hálózatba kapcsolt teljesen párhuzamos rendszerekre.⁶⁶

Egy nemzetközi kutatógárda – amelynek tagjai egyetemek, valamint állami és vállalati laboratóriumok munkatársai – kifejezetten grid-alkalmazások létrehozásának támogatására hozta létre a Globus elnevezésű nyílt forráskódú szoftverfejlesztési eszközkészletet. A Globus-csoport minta-alkalmazásokat és szabványokat is kidolgoz a grid-számítástechnika gyakorlati művelői számára.⁶⁷ Így biztosra vehető, hogy 2015 körül már lényegében megoldódnak a programozási problémák és a szuperszámítógépek széles skálája áll majd a felhasználók rendelkezésére mind vezetékes, mind vezeték nélküli hálózatokon.

A korlátlan műveleti sebesség 5-8 éven belül hasznosul a biológiai elvű nanoeszközökben,⁶⁸ a mikroérzékelőkből és a rájuk építkező cél-hardverekből felépülő *nanorobotok*ban is. Ezek nem lesznek ugyan univerzálisak, de pontosan és megbízhatóan fogják végrehajtani feladataikat, amelyekre programozva vannak.⁶⁹

A DNS-számítógépek feltehetően forradalmi változásokat hoznak a gyógyszergyártásban és az orvoslásban; ilyenek üzemszerű működése már a jövő évtized közepétől várható.

Egyes előrejelzések szerint testünket ilyen apró számítógépek fogják felügyelni, ellenőrizve egészségi állapotunkat. Egyszerűbb esetekben a programjukba épített orvosi ismeretanyag révén felismerik a rendellenességeket is és eljuttatják a megfelelő gyógyszereket a károsult vagy beteg szövetekbe.⁷⁰

Nem túlzás feltételezni, hogy különösen az élettudományok területén lesz jelentős előrelépés a közeljövőben, például a diagnosztikában (*lenyelhető laboratórium*), a gyógyszerek célzott eljuttatása területén (*távírányított nanokapszulák*) stb. Az ilyen rendszerek természetesen teljesen új elven működő programokat is igényelnek.

6.2 Gazdaság

A korlátlan sávszélességű és nagy megbízhatóságú hálózatok használatával szorosabbá válnak a nemzetközi pénzvilág – már ma sem elhanyagolható – kapcsolatai. A fokozottabb egymásra utaltság és a közvetlenebb információcsere révén feltehetően könnyebben elkerülhetők lesznek a világméretű pénzügyi katasztrófák és válságok. Egyidejűleg azonban a maiaknál sokkal hatékonyabb ellenőrzési technikákat kell kialakítani a visszaélések és a súlyos károkat okozó tranzakciók megakadályozására.

A gyakorlatilag korlátlan sávszélesség mellett a tárolókapacitás korlátlan elérése jelentős változást hoz az üzleti modellek terén és a számítási teljesítménynek így kihasználható növekedése révén az informatika az üzleti élet szerves részévé lesz, nemcsak termelési, hanem személyi-kapcsolati szinten is:

- kiteljesednek az információtechnológiai piac és a tartalomszolgáltatói üzletág

⁶⁶ A Teraflopnak „hálózat egy lapkán” elnevezésű változata ideális az üzleti életben különösen kedvelt úgynevezett *heterogén számítástechnika* megvalósítására, aminek lényege, hogy az egyes feladatokat a leginkább illeszkedő működtetőrendszer alatt futtatják. Ezt eddig úgynevezett virtualizációs programozással oldották meg, amikor is az egyprocesszoros gépen váltogatták az operációs rendszereket, de többszáz-magos processzorok használata nyilvánvaló hatékonyságnövekedést eredményez.

⁶⁷ Globus Alliance Team: *Software Components for Grid Systems And Applications*; http://www.globus.org/grid_software

⁶⁸ A nanotechnika jelenleg képletesen szólva csecsemőkorban van – optimisták szerint gyermekkorát éli, exponenciális fejlődési üteme azonban a korlátlanság irányába mutat.

⁶⁹ Az intelligens mikroérzékelők – amellett, hogy méreteik illeszkednek a nanoeszközökéihez – képesek bizonyos programozható elő-feldolgozásra, is; például nem továbbítják a feladatuk megoldása szempontjából értéktelen adatokat, érzékenységüket hozzáigazítják az adatok jellegéhez, együttműködnek környező szomszédaikkal stb. — A mikroérzékelők működésének elvi és gyakorlati kérdéseiről lásd Mizsei János: *Intergrált mikrorendszerek*, BME jegyzet, (www.eet.bme.hu/publications/e_books/)

⁷⁰ Érdekes példaképpen megemlíthetjük a Rice Egyetemen (Houston, USA) rákos daganatok eltávolítására kidolgozott kísérletet: egerek vérébe körülbelül 1 nm átmérőjű, infravörös lézertényben észlelhető, arannyal bevont üveggömböket juttattak be, amelyek a véráramban keringve megtelepszenek a sejtekben. Amikor ezek a gömböcskék felhalmozódtak egy rákos sejtben, ezt a megfelelően irányított lézertárával felhevített gömböcskéket egyszerűen „elégítik”. Az eljárás emberi alkalmazására jelenleg folynak a vizsgálatok.

(http://www.kuhf.org/site/News2?page=NewsArticle&id=12496&news_iv_ctrl=0).

lehetőségei, könnyebben hozzáférhetővé válnak a szolgáltatásalapú rendszerek;

- elterjed a távmunka és fokozatosan kialakul a hálózatalapú társadalom.

A korlátlanul váló informatika minden bizonnyal felgyorsítja a tőke és a termelőerők már ma is tapasztalható koncentrációját. A folyamat hosszú távú veszélyei nyilvánvalóak: minél nagyobb gazdasági erőt birtokol egy vállalat, annál inkább tudja kiszorítani a piacról a versenytársakat, saját jövedelmezőségének növelése érdekében kialakítani a termékválasztékot és megszabni az árakat. Ismeretes, hogy az Európai Unió illetékes szervei milyen kemény harcot folytatnak, hogy kiküszöböljék vagy legalább csökkentsék az említett nemkívánatos mellékhatásokat; gazdasági elemzők azonban már ma jelzik, hogy egy bizonyos koncentrációs szint felett a politikai hatalom nem tud érdemi korlátokat felállítani és a gazdaság szereplői ellenőrizhetetlenné válnak. Pesszimista forgatókönyvek szerint még az orwelli hárompólusú világ is kialakulhat.

A szuperszámítógépek hatalmas lendületet adhatnak a MI kutatásnak és a szakértő – például beszédfelismerő, gépi fordító, képfelismerő stb. – rendszerek kifejlesztésnek, amelyek a gazdaság fejlődésére visszahatva az üzleti modellek ma még beláthatatlan átalakulását indikálhatják. Ugyancsak fontos szerepük lesz a szórakoztatóipar szolgáltatásaival – számítógépes játékok, helytől független interaktív tévénézés stb. – szemben mutatkozó, valószínűleg exponenciálisan növekvő igények kielégítésében, valamint olyan extrém számítási igényű ipari alkalmazásokban, mint a nagy pontosságú szimuláció vagy a valószerű grafikus modellezés.

6.3 Társadalom

A társadalom egyre nagyobb mértékben függ a számítógépektől. A programhibák közvetve vagy közvetlenül komoly baleseteket – halált, sérüléseket, súlyos környezeti károkat vagy pénzügyi veszteségeket – idézhetnek elő, mint ahogyan ilyenek már történtek is. Ha nem korrigáljuk a trendeket, a programok egyre több területre kiterjedő használata – például a szállításban, az egészségügyben vagy az infrastruktúrában – még gyakoribb és súlyosabb következményekkel járhat. Ezért rendkívül fontossá vált *megbízható programok* kifejlesztése.⁷¹

A sokprocesszoros lapkák számos nagy számítási igényű alkalmazás előtt nyitották meg az utat, amilyen például a tévésugárzás számítógépes vezérlése, nagy felbontású képtovábbítás, személyre szóló adatbányászat, komplex modellezés és szimuláció, de különösen nagy reményekre jogosítanak a videojátékok világában – például lehetővé teszik, hogy „virtuális tánctanár” tanítson táncolni, vagy egy futballrajongó felhasználó saját kedvenc játékosainak alakját jelenítse meg a képernyőn egy játékprogramban.⁷²

A nanorobotok gyökeresen megváltoztatják az ember-gép kapcsolatokat is.⁷³ Fennáll a veszélye, hogy „robotfüggővé” leszünk és közvetítésükkel elveszítjük a „makrorobotok” feletti irányítást, mivel utóbbiak intelligenciaszintjének és képességeinek rohamos növekedésével egyre kevésbé tudunk majd lépést tartani.

Indokolható tehát ésszerű fékek beépítése. Az EU vezető szervei már megfogalmaztak etikai aggályokat a lehetséges visszaélések megakadályozására, ám a kutatás zömmel az Egyesült Államokban folyik és üteme gyorsabb, mint a törvényalkotásé. Úgy látszik tehát, hogy az

⁷¹ D. Jackson - M. Thomas - L. I. Millett (eds): *Software for Dependable Systems: Sufficient Evidence?*
http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=11923

⁷² Jelenleg például úgy készülnek a valóságos mozgást hűen megvalósító figurák, hogy mozgásérzékelők százait helyezik el élő szereplők testén és a felvett adatokból számítógéppel állítják elő képsorozatot. A jövőben a mozgáselemeket a nagysebességű sokprocesszoros rendszerek fogják generálni.

⁷³ Néhány fejlesztési projekt, a teljesség igénye nélkül: pupillamozgást érzékelő „szemmel vezérelhető” képernyő, „tetoválható” a bőrben kialakított áramkörökkel működő mobiltelefon, gyakorlatilag kimutathatatlan parányi, érzékelésre és adatátvitelre képes, napenergiával táplálkozó szemcsék (*okos por*; Smart Dust) stb.

emberiség feltartóztathatatlanul halad a kibogozhatatlanul komplex hálózatok „sarkaiban” megbúvó fantasztikus méretű táruk tartalmát elképzelhetetlen sebességgel feldolgozó számítógépek tulajdonosai – netán kiborgok – által vezérelt szép új világ felé.

7. Hazai helyzet

7.1 Jelenlegi helyzet

A három tapasztalati törvény érvényesülése következtében a sávszélesség és a számítási teljesítmény szakadatlan növekedése, valamint az üzleti modellekre gyakorolt együttes hatásuk nálunk is jelentkezik, mégpedig legfeljebb 1-3 éves késleltetéssel az élvonalbeli országokhoz képest. Ennek megfelelően itthon is várható a hálózatalapú társadalom fokozatos kialakulása, a szélessávú hozzáférés terjedésével a bázis kiszélesedése, valamint az ebből fakadó előnyök és veszélyek erősödése, a digitális szakadék mélyülése. Az eszközök és a berendezések, illetve az infrastrukturális fejlesztések tekintetében itthon is számolnunk kell a világtrendek érvényesülésével, ugyanakkor figyelembe kell vennünk az eltérő hazai szokásokat is. Ezek közül legjellemzőbb az Internet iránti fogékonyság viszonylagosan alacsony volta, ami arra utal, hogy a hálózatalapú társadalom kialakulása is lassúbb lesz itthon, mint a világ fejlettebb régióiban.

Az infokommunikációs szolgáltatók üzleti modellje hazánkban is meg fog változni, ami elsősorban a hagyományos, jelentős súlyt képviselő szolgáltatókat fogja érinteni (Magyar Telekom, Invitel). Ennek első jelei már mutatkoznak a tulajdonosi fűzőkban (Magyar Telekom – T-Mobil, HTCC – Pantel – Invitel), s hamarosan megkezdődik a felkészülés is az üzleti modellek átformálására. Itthon is megkezdődött a VoIP technológia alkalmazása a szolgáltatók világában, s a nagy szolgáltatók lépéskényszerbe kerültek szolgáltatási portfóliójuk tekintetében. Megindul a Triple Play (beszéd, Internet, TV együttese) szolgáltatás, 2010 tájára általánossá válik a hagyományos és a VoIP alapú hangszolgáltatások versenye, továbbá megkezdődik az átállás az NGN hálózatokra.

Nem lesz egyszerű a helyzet a tartalomszolgáltatás terén sem, mivel a hazai piacon szükség lesz a magyar nyelvűre, de az ebbe fektetett tőke és szellemi beruházás nem versenyképes az európaival. Ezen a téren tehát mindaddig vontatott fejlődésre számíthatunk, amíg általánosan el nem terjednek azok a technológiák, amelyek segítségével az angol nyelvű tartalom szinte automatikusan átültethető lesz magyar nyelvűre. Ezt követően át kell még hidalni a kulturális különbségeket is, honos tartalomfejlesztés segítségével.

Ami a kutatásokat illeti, a magyar kutatók teljesítményét világszerte elismerik, tudományos körökben közel annyit idéznek tőlük, mint osztrák kollégáiktól. Nemzetközileg is jelentős magyar eredmények születtek többek között a szén-nanocsövek kutatásában és előállításában.⁷⁴ Nanoátalakítások céljára jelenleg is működik Magyarországon egy igen nagy (1-2 nm) felbontású pásztázó elektronmikroszkóp, amelyet úgynevezett fókuszált ionnyalábbal működő ionmaróval és ion-beültetővel kombináltak (MESM: Microelectronic Mechanical System).

A KFKI-ban már korábban is készültek „szagérzékelő” lapkák, amelyek alkalmasak kábítószer-, robbanószer- vagy környezetkárosító gázmolekulák mérésére és azonosítására.⁷⁵

Mindazonáltal hazánkban az innováció szempontjából aggasztó a műszaki és természettudományos friss diplomások alacsony és csökkenő tendenciát mutató száma.⁷⁶

⁷⁴ (Gyulai József: *Az emberiség útja a nanovilág felé*, Mindentudás egyeteme előadás, 2003. november 3.; www.mindentudas.hu/doc/gyul_nyomtathato.rtf)

⁷⁵ A megvalósítás kulcsa egy szabályozható mikrofűtőttest; ennek felületén katalitikus réteg van, amelynek segítségével mérhető a vizsgált gáz égéshője.

⁷⁶ A jól képzett munkaerő egyik előfeltétele annak, hogy a magyar szellemi tőke hathatósan kamatoztatható legyen. 2006-ban mintegy 350-nel kevesebb szabadalmi bejegyzés érkezett a Magyar Szabadalmi Hivatalhoz, mint az előző évben és ezzel Magyarország az Európai Unióban a "leszakadó országok" csoportjába került.

7.2 Fejlesztések és várható fejlődés

A hálózatok fejlődése terén a hazai helyzet nem fog jelentősen eltérni a nemzetközi trendektől, mivel a nagy hálózati szolgáltatók részben vagy egészben külföldi tulajdonban vannak. Mind a gerinchálózatban, mind a hozzáférési hálózatban intenzív sáv szélesség-növekedés várható, elsősorban a feltörekvő új alkalmazások (IPTV, Web 2.0 stb.) kiszolgálását tartva szem előtt. Ez a folyamat egyre inkább visszahat a hazai szélessávú előfizetések elterjedésére, így remény van rá, hogy a digitális szakadék csökkenni fog, amihez a felnövekvő, interneten szocializálódott – túlnyomórészt tizen- és huszonevesek alkotta – társadalmi réteg természetes módon is hozzájárul. Itthon is meg fog jelenni az NGN, ami ugyancsak megteremti a lehetőséget a felzárkózásra.

Míg szolgáltatási területen követni tudjuk a világot – még ha néhány éves lemaradással is –, addig mikroelektronikai eszközök kifejlesztésében mind tervezés, mind gyártókapacitás területén ki leszünk szolgáltatva a világ nagy szállítóinak; ebbéli hátrányunkat legfeljebb kutatási és programfejlesztési területeken tudjuk csökkenteni.

Hazánkban több intézményben is végeznek nanotechnikával kapcsolatos kutatásokat:

- Debrecenben a Kossuth Lajos Tudományegyetem Informatikai karán elméleti munka folyik, főleg a DNS-számítógépek és más elvű kvantumszámítógépek működési elveinek tisztázására.⁷⁷
- Miskolcon a 2006-ban orosz együttműködés keretében létrehozott Nanotechnológiai Kutatólaborban anyagtechnológiai kísérleteket végeznek.
- A Szegedi Tudományegyetem Alkalmazott és Környezeti Kémiai tanszékén az *Integrált önszabályozó nanoelektronikai szenzorok* (röviden: Sanes) elnevezésű európai uniós kutatási projekt megvalósításán dolgoznak.⁷⁸
- Az MTA-SZTAKI-ban (Celluláris és Érzékelő Hullám-számítógépek Kutató Laboratórium) – együttműködésben a Pázmány Péter Egyetem Információs Technológiai Karával – folynak CNN-UM alapú celluláris hullámszámítógépekkel kapcsolatos kutatások; új lapkák létrehozása mellett a már piacon levő celluláris vizuális mikroprocesszorra is készülnek fejlesztőrendszerek, valamint algoritmusok és alkalmazási programok.⁷⁹

A grid-rendszerekkel kapcsolatos, ugyancsak az MTA SzTAKI-ban folyó kutatómunka is komoly sikereket hozhat: jelentős eredményeket értek el feladatok ütemezése terén asztali (desktop) rendszerekkel; de tudományos rendszerként említést érdemel az európai EGEE projekt hazai verziója, a HunGrid, valamint a NIIF gondozásában létrejött ClusterGrid is. Programfejlesztéssel, nevezetesen többmagos processzorok teljesítményének mérésére (benchmark) kidolgozott úgynevezett *tervezésitér-elemző* módszerrel tettek szert nemzetközi hírnévre a Budapesti Műszaki Főiskola Neumann János Informatikai Karán. Az eltérő számítógép-architektúrák hatékony összehasonlítását is lehetővé tevő programrendszerre felfigyelt az IBM böblingeni kutatólaboratóriuma és együttműködési szerződést kötött az intézménnyel.⁸⁰

⁷⁷ Lásd például: Nagy Benedek: *Új elvű számítógépek - Bevezetés az új számítási modellekbe és a nem-klasszikus "számítógépek" tudományába*, KLTE Egyetemi jegyzet, mobiDIÁK könyvtár Debreceni Egyetem Informatikai Kar (2005) (<http://mobidiak.inf.unideb.hu>)

⁷⁸ A 2008. áprilisában indult projekt futamideje három év, teljes költségvetése mintegy 1,35 M€, ebből a közösségi támogatás 1,2 M€, a Szegedi Tudományegyetemre jutó rész pedig 236 000 €.

⁷⁹ Tamás Roska: *Circuits, Computers and beyond Boolean Logic*, International Journal of Circuit Theory and Applications 2007/09-10) — A mikroprocesszor kereskedelmi forgalmazója az ANAFOCUS Ltd. Sevilla. (Részletesebben lásd *Emerging research architectures* in ICCP Computer, 2008.05).

⁸⁰ Jelenleg Intel homogén négy- és nyolcmagos, GPU bővített sokmagos, valamint heterogén Cell-De kilencmagos processzorokat mérnek, de tervezik a mérések kiterjesztését peta-, illetve exaflopos sokmagos processzorokra.

7.3 Befolyásoló tényezők és hatások

A hálózatalapú társadalom kialakulása terén nem állunk jól, még az Európai Unió hasonló gazdasági adottságú országaihoz viszonyítva sem, három okból:

- Jelenleg is le vagyunk maradva az Internet használatában és a fentiek szerint „felzárkózási sebességünk” is kisebb lesz.
- A népesség számottevő hányada alulképzett és nem is mutat érdeklődést számítástechnikai alkalmazások iránt.
- Nincs kidolgozva ciklusokon átívelő egységes középtávú fejlesztéspolitika.

Szakértők szerint nem szerencsés az alaputatások és az alkalmazott kutatások finanszírozásának merev szétválasztása sem, az átjárhatóság feltétlenül javítaná a kutatómunkák hatékonyságát.

Mindezek ellenére nagy reményeket fűzhetünk az uniós támogatások felhasználásához és várható, hogy a támogatások révén megélnékülő kereslet javulást eredményez a globális informatikai mutatókban is. A kutatómunkának például hathatós támogatást jelenthet, hogy Budapesten nyílik meg az Európai Innovációs és Technológiai Intézet, az Európai Unió innovációs kutatóközpontja.

8. Összefoglalás

A következő 15-20 évben átlépjük számítógépes erőforrásaink jelenlegi hozzáférési korlátait. Míg manapság nagy hatékonyságú számítógépes rendszerek használatát csak kiemelkedő anyagi forrásokkal rendelkező intézmények engedhetik meg maguknak – államilag támogatott kutatóhelyek és egyetemek, tőkeigényes iparágak (például kőolaj-kitermelés, repülőgép- és gépkocsi-tervezés, gyógyszergyártás stb.) –, a rohamos fejlődés következtében lerövidül az avulási idő és a ma még élvonalbeli eszközök egy idő után tömegtermékké válnak, amelyek már az átlagpolgár számára is megszerezhetőek lesznek.

Mivel a következő 10 évben mind a sávszélesség, mind a tárcapacitás és a műveleti sebesség várhatóan a tapasztalati törvények szerinti exponenciális ütemben növekszik, meredek fejlődésüknek kettős hatása lesz:

- a jövőben egyre inkább azzal számolhatunk, hogy a sávszélesség és a tárcapacitás szinte korlátlanul rendelkezésre áll majd a felhasználóknak;
- a műveleti sebesség fokozódásával a számítási teljesítmény átlépi – részben már át is lépte – azt a határt, amely felett lehetővé lesz csomagkapcsolt valósidejű jelfolyamok továbbítására is.

A két trendből együttesen következik, hogy a közel 130 éves vonalkapcsolt technológiát a legtöbb hálózatban lavinaszerűen felváltja a csomagkapcsolás és ennek jelentős hatása lesz a szolgáltatók üzleti modelljeire is.

Egyszersmind az infokommunikáció legtöbb területén létrejönnek olyan alkalmazások, amelyek – élve a gyakorlatilag korlátlan sávszélességgel – kihasználják, hogy a távoli tároló- és számítási teljesítmény tetszőleges időben elérhető. Ilyenformán kialakulnak a grid-számítástechnikához hasonló elosztott feldolgozó rendszerek, amelyekben a személyes adatokat is távoli szervereken tárolják. Ennek a ténynek szintén jelentős hatása lesz a szolgáltatók üzleti modelljeire, megjelennek a "hálózat maga a számítógép" elvet megvalósító szolgáltatások.

Addigra már észrevehető lesz a technológia vázolt exponenciális fejlődése, vagyis a hardver eszközök egyre kevésbé jelentenek korlátokat a feladatok megoldása előtt. A számítógépek *intelligenciaszintjét* – problémamegoldó, következtető, tanuló stb. képességét – azonban a megvalósított alkalmazások határozzák meg: ezért kiemelkedő jelentőséget kapnak a szakértő rendszerek – amelyek fejlesztése a múlt század közepén éppen a hardver eszközök elégtelen teljesítményszintje miatt akadt el.

Tekintve, hogy az alkalmazási rendszerek létrehozása általában – a párhuzamos programozás különösen – elmarad a hardver fejlődése mögött, várható, hogy a számítási teljesítmény „korlátlanágát” majd csak az évtized második felétől kezdve lehet ténylegesen kihasználni. A jövő informatikáját így három tényező ellentmondásos egymásra hatása fogja befolyásolni:

- miközben a bárki által bárhol elérhető alkalmazások platform- és technológia-függetlenek lesznek,
- kifejlesztésük ütemét és hatékonyságukat fékezni fogja az új programozási technikák hiánya, továbbá
- a hálózatokról és az érzékelőkről nyert adattömegek feldolgozáshoz is új elemzési technikákat kell kialakítani.

Ami a technológiát illeti, a mikrotechnikát fokozatosan felváltja a nanotechnika. Változatlanul tranzistorokat vagy hasonló működési elvű eszközöket fognak használni lényegében változatlan elvű számítástechnikai funkciókra – bináris tárolásra és műveletekre –, de az elsőgenerációs nanoméretű tranzistorokat kiváltják a szén-nanocső tranzistorok. A nanoinformatika különböző módokon valósul meg: elektromos-, mágneses-, kémiai-biológiai-, esetleg kvantum jelenségek felhasználásával jelentősen nagyobb sebességek, kisebb méretek és alacsonyabb költségek elérésével.

A következő évtized közepétől megjelennek a neurális és a DNS-számítógépek, de várható a membrán-számítógépek hardver megvalósulása is. Nem lehetetlen, hogy a biológiai-elvű vagy éppenséggel élő organizmusokból álló számítógépek egy nap lefőzik a szilícium alapú szuperszámítógépeket. Ugyancsak ebben az időszakban várható a sokprocesszoros szuperszámítógépek széleskörű elterjedése, valamint a szén-nanocsövek gyakorlati alkalmazása is.

A kvantumszámítógépek további 10-20 évvel később kerülhetnek ki a laboratóriumokból, amikor már számottevően nő a kvantumpöttyök és más elvű kvantumszámítógépek számítási teljesítménye, valamint csökken a méretük és az áruk, jóllehet számítástechnikai alkalmazásuk – adatbevitel és -kiolvasás, programozás – ez idő szerint nyitott kérdés.

