

Alapok

Alapokon az információ tárolását, feldolgozását és továbbítását végző alapvető berendezések („áramkörök”) technológiáit, illetve az ezeket megalapozó természettudományos törvényszerűségeket, tehát elsősorban anyagtudományi, (mikro)elektronikai, fizikai, biológiai, valamint (matematikai) számítástudományi jelenségeket értünk.

Az infokommunikációs technológiák fejlődését jelentős mértékben meghatározza az informatika és a konvergencia hosszú ideje érvényben lévő, a 2008-2018-as időszakban továbbra is érvényben maradó három heurisztikus (tapasztalati) alaptörvénye:

- Gilder-törvény a *sávszélességről*: a kommunikációs rendszerek teljes sávszélessége évente megháromszorozódik.
- Ruetters-törvény a *tárolási kapacitásról* (memóriotörvény): a felhasználható tárolási kapacitás évente megkétszereződik.
- Moore-törvény a *számítási kapacitásról* (lapkasűrűségről és műveleti sebességről): az egy lapkára integrált tranzistorok és más áramköri elemek száma másfél évente megduplázódik, illetve ugyanilyen arányban nő a működési sebességük is.

A fejlődést megfogalmazó három heurisztikus törvény és kölcsönhatásaik valamennyi témakörre kihatnak.

1. Anyagtudományi alapok

1.1 Anyagtudomány

Az anyagtudomány és az abból eredő molekuláris szintű technológia az alaptudományok (fizika, kémia, biológia) jelenségorientált kutatásai során felismert törvényeket, mint az anyagoknak (akár atomi szinten rendezett) tudatos átalakítására alkalmas módszereket használja. Rendeltetése meghatározott feladatot ellátó, működő anyagi szerkezetek, formációk teljes bonyolultságukban történő, reprodukálható előállítására. Korábban a szerkezeti anyagokat, jelenleg viszont és a közeljövőben még inkább a *funkcionálisakat* tekintik a szakterület elsődleges tárgyának. A második csoportba tartozó *komplex, célorientált* (számítástechnikában, hírközlésben, orvosi-biológiai eszközökben, intelligens épületekben stb. hasznosuló) *anyagok* fejlesztése, alkalmazása a fő cél. A követelmények teljesítése mind nagyobb feladatok elé állítja a szerkezetkutatás, a kémiai analitika, a folyamatok vagy a kész szerkezetek monitorozási eljárásait, eszközeit. Ezek szolgáltatják ugyanis a megbízhatóságra, élettartamra és hasonlókra vonatkozó kvantitatív adatokat. Egyéb (környezetkímélési, újrahasznosíthatósági, anyag-, energiatakarékossági, automatizálási és ma még nem ismert) szempontok érvényesítése újabb kihívásokat jelent, illetve fog jelenteni.

1.2 Intelligens anyagok

A jelenlegi szóhasználat szerinti intelligens anyagok jellemzője, hogy funkcionálisak és a jövőben egy vagy több tulajdonságuk döntő mértékben átalakítható lesz. Már léteznek ilyen (piezoelektromos, magneto-reosztatikus, elektro-reosztatikus stb.) anyagok, amelyeket különböző használati tárgyakba integrálnak. Alkalmazásaik száma jelentős mértékben növekszik.

A tényleges – *atomi szinten kidolgozott* – intelligens anyagokat előállító technológiák (például a nanotechnológia) fejlődésének eredményeként az adott anyag egy-egy tulajdonsága (méret, vezető-, ellenálló-képesség stb.) alkalmazását is meghatározó mértékben módosítható. Kettős jelenség várható: a technológiák gyorsan fejlődnek, az anyagok széleskörű és gazdaságos előállítása viszont még hosszú ideig várat magára.

2. Elektronikai alapok

2.1 Moore-törvény

Moore 1965-ben megfogalmazott, 1975-ben módosított törvénye elméletileg az atomi méretek eléréséig, tehát valószínűleg még integrált áramkörök generációinak sokaságán keresztül, minimum hét-kilenc évig érvényben marad (ismereteink szerint 2013-ig van számszerű, általánosan elfogadott előrejelzés). Ez azt (is) jelenti, *hogy változatlanul a mikroelektronikai jelfeldolgozás lesz a legáltalánosabb*, de a többi – főként a molekuláris és az optoelektronikus – feldolgozási technológia szintén ismertté válik. A molekuláris tranzisztorok nagy hatással lesznek a számítástechnikára, viszont legkorábban tíz-tizenöt év múlva kerülnek forgalomba, amikor a szilíciumalapú eszközök már nem zsugoríthatók tovább. (Kvantum- és fotonalapú feldolgozás egyelőre szintén csak – szórványos – kísérleti szinten létezik.)

Egyes vélemények szerint a számítógépek teljesítménye belátható időn belül meg fogja haladni bármely számítási szükségletünket. A gyors fejlődés elméletileg 100 GHz-es (vagy annak megfelelő sebességű) személyi számítógépeket és 20 GHz-es mobil eszközöket tenne mindenki számára hamarosan elérhetővé.

2.2 Mikroprocesszorok

A mikrochipek teljesítőképességének jelentős növekedése a drasztikus árzuhanás mellett lehetővé teszi, hogy a hétköznapi tárgyak a mainál lényegesen komolyabb számítási kapacitással rendelkezzenek. A jellemző technológiai méretek 2018-ig tíz nanométer alá csökkennek, míg a kapcsolódó (a processzor működését jelentős mértékben meghatározó) órasebesség hamarosan túllépi a 30 GHz-et.

A processzortechnológia fejlődése egyre tömegesebb méretekben halad a homogenizált, szabványos magprocesszorok párhuzamos működésű architektúrákba szervezésének irányába. A mára elterjedt kétmagosak mellett folyamatosan jelennek meg a *mind nagyobb magszámú processzorok*. Merészebb előrejelzések szerint ez a szám tíz éven belül akár a néhány ezret is elérheti. A többmagos processzorok fejlődése a magok száma mellett egymástól nagyon különböző új architektúrák kialakulásán szintén tetten lesz érhető. *Az eredetileg homogén többmagos architektúrák mellett megjelennek a heterogének is.*

Amellett, hogy a mikroelektronikai jellegű integrált áramkörök jelentik változatlanul az alapokat, tovább kísérleteznek az *organikus áramkörökkel* is. Feltételezhetően hasznosulásra kerülnek az első átfogóbb bio- és nanotechnológiai alkalmazások.

A mikroelektronikai termékek előállítása során a gyártók jelentős mennyiségű, az emberre és környezetére veszélyes anyagot – halidokat, bromidokat, foszfidokat, telítetlen szénhidrogéneket stb.) – használnak fel. A környezetvédelmi szempontokat figyelembe véve, hamarosan olyan új technológiai eljárások dominálnak majd, amelyek ezek nélkül állítják elő a chipeket és a félvezető eszközöket, illetve az ólom kiszorítása az elektronikai technológiából jelentősen csökkenti a nehézfém-szennyezést.

2.3 Félvezetők

A félvezetők és a kapcsolódó technológiák továbbra is az IT-ipar alapjai maradnak. A következő évtizedben széles körben elterjednek *a magasabb szintű rendszerfunkciókat támogató új technológiák*. A kiegészítő fémoxid félvezetők (Complementary Metal-Oxide Semiconductor, CMOS) és a CMOS-típusú áramkörök mellett megjelennek a molekulárisak, például a félvezetőként is funkcionáló nikkel-diklorid alapú mágneses anyagok.

Jelentős változás lesz, hogy a szilícium-dioxid uralkodó szerepét ugyan megőrzi, az áramkörök létrehozásához azonban felhasználnak lényegesen gyorsabb működést biztosító szerves szigetelő rétegeket is. Önálló gazdasági tevékenységként is megjelenik a *plasztronika* (szerves molekulákból felépülő elektronikai elemek gyártása), valamint a műanyag alapú félvezetők alkalmazása.

A szerves anyagok funkcionális elektronikai és optoelektronikai elemként való alkalmazása megsokszorozza a konstrukció és technológia lehetőségeit. Az alkalmazásokat multifunkcionalitás, tömeg- és térfogatcsökkenés jellemzi. Az eszközök stabilitása és várható élettartama viszont egyelőre messze elmarad a szervetlen félvezető anyagok hasonló tulajdonságaitól. A szerves anyagok közül a *szén nanocső* fog kiemelkedő szerepet játszani.

2.4 Tároló elemek

A félvezető-alapú tároló elemek terjedésével és áruk (például a pen drive-val szemléltethető) csökkenésével a mechanikai mozgást igénylő tárolási technológiák háttérbe szorulnak; a CD-technika a végénél tart, mivel az 52x-es értéket a mechanikai korlátok miatt nem lehet jelentősen felülmúlni. Ugyanakkor széles körben elterjednek a lényeges anyagtudományi (vegyület-félvezető) vonzatokkal rendelkező *kéklézeres technológiák*.

A (flash-memóriával rendelkező) pen drive egy másik jelenséget szintén jól szemléltet: az akár harminc-negyven gigabyte-ot is elérő flash-memóriák kiválthatják a merevlemezt. Sok alkalmazás számára létfontosságú, hogy az adatok a lehető legkisebb energiaráfordítás és adatvesztés mellett minél tovább megőrződjenek. A jelenlegi – és a közeljövőben használatos – technológiák azonban nem teszik lehetővé száz évnél hosszabb ideig történő tárolásukat, folyamatos frissítésüket. Bár új, hosszabb élettartamot biztosító technológiákra lenne szükség, egyelőre azonban *csak mennyiségi előrelépés várható*.

2.5 Képtechnológiák

Folytatódik a különféle technológiákat ötvöző megoldások kifejlesztése és gyártásba vitele. A jelenleg versengő plazma- és folyadékkristályos módszerek nincsenek a feltétlen nyertesek között. *A befutó feltehetőleg a nanotechnológián alapuló megjelenítés lesz*. Jelentősen csökkenni fog a megjelenítésre fordítandó energia mennyisége. Elterjednek a szilárdtest fényforrások és a műanyag-alapú világító elemek.

A folyadékkristályos kijelzőknél nagyobb fényerejű, állandó képességű és a megjelenített információt bármekkora szögből „láttató” *elektronikus tinta* felbontásának jelentős javulása várható. Az ezzel a technológiával készülő (főként mobil) kijelzők

egyrészt jóval vékonyabbak lesznek a rivális módszerekkel előállítottaknál, másrészt hosszabb ideig működnek.

2.6 Nanotechnológia

A nanotechnológia – elsősorban annak *nanoelektronika* ága – egyelőre főként az előállítási és (a tárcapacitás bővítését és a műveleti sebesség fokozását célzó első átfogóbb alkalmazások ellenére) nem az alkalmazási oldalon jelent komoly kihívást. Még ebben az évtizedben létrehoznak nagyon kevés atomból álló chip-részeket, míg a szimpla atomok ipari folyamatok során történő manipulációja a 2010-es évek első felére prognosztizálható. A nanorészecskék mérete speciális biztonsági eljárások kidolgozását teszi szükségessé és lehetővé.

3. Fizikai alapok

A szerteágazó fizikai alapok közül elsősorban a kvantumfizika és alkalmazásai befolyásolják az infokommunikációs technológiák jövőjét. Egyelőre azonban inkább csak kuriózumnak számítanak, 2018 előtt ezen a területen nem várható jelentős áttörés.

A *kvantumszámítások* és az azokon alapuló számítógépek – a sikeres kísérletek ellenére – kezdeti kutatási stádiumban járnak, a technológia szinte csak elméletben és papíron létezik. A jövőre nézve mindenképpen biztató jel, hogy a kvantumszámítógépek fejlesztésére irányuló kutatásokat sok nemzetközi szervezetek mellett nemzeti kormány és katonai ügynökségek is támogatják.

A terület egyetlen kereskedelmi forgalomba került alkalmazása – termékekkel együtt – a kvantumkriptográfia, amelynek szélesebb körű elterjedése a vizsgált időszak második felében várható.

4. Biológiai alapok

4.1 Biológia és az infokommunikációs technológiák

Folytatódik biológia és infokommunikációs technológiák áramköröktől kezdve a mesterséges intelligenciáig számos területre (robotikára, ágenstechnológiára, bioinformatikára stb.) kiható és új tudományterületeket (például a részben a biotechnológia folytatásának tekinthető szintetikus biológiát) létrehozó közeledése egymáshoz.

A biológiai hatások következményei két típusba sorolhatók. Az egyik, a széles körben alkalmazott *biológiai indíttatású számítások* (biologically inspired computing) a természet információkezelő műveleteit stb. élő anyag felhasználása nélkül másolni igyekvő programokra, számítógépekre, számítógépes rendszerekre és általános tervezési, működési elvekre, a kevésbé elterjedt másik *szerves molekulákat tartalmazó infokommunikációs eszközök* – elsősorban számítógépek – fejlesztésére vonatkozik. Biológia és számítástudomány kölcsönhatásaival (mint ahogy a technológiai kínálat valamennyi témakörével) is összefügg, hogy gyakrabban használjuk – akár anyagok, akár rendszerek, akár gépi viselkedésformák megjelölésére – az élővilágból kölcsönzött *intelligens* szót. Egyrészt (tágabb értelemben) az ember bizonyos viselkedéseire, képességeire hasonlítható működéseket, másrészt (szűkebb értelemben) az információkezelésre – befogadásra, tárolásra, feldolgozásra és visszajelzésre – való alkalmasságot írjuk le vele.

4.2 Kognitív modellek

Számítógépek és rendszereik alapelveinek kidolgozásakor, fejlesztésükkor egyre inkább figyelembe veszik élőlények, elsősorban az ember elméműködésének (figyelem, nyelvfeldolgozás, tanulás, emlékezet, észlelés, cselekvésvezérlés stb.) rejtélyeire választ kereső (biológiához, neurobiológiához, pszichológiához, filozófiához, nyelvészethez, antropológiához és számítástudományhoz egyaránt kapcsolódó) kognitív tudomány eredményeit.

Az 1990-es évek első feléig a mentális folyamatokat – digitális számítógépek információfeldolgozásához hasonló – szimbólumokkal végrehajtott műveletekkel magyarázó *szimbolikus* megközelítés volt az elfogadott, az utóbbi két évtizedben viszont elterjedt a *konnekcionista* szemlélet. Lényege, hogy a folyamatosan változó (dinamikus) rendszerként felfogott elme működése nem modellezhető szimbolikus szinten. A gondolkodás alapjait adó fizikai rendszert (a különböző módon egymáshoz kapcsolódó egyszerű csomópontok bonyolult rendszereként értelmezett agyat), illetve az érzékelési folyamatokat jobban megismerve a modellezés hitelesebb, eredményesebb, és (például mesterséges neurális hálózatokkal) könnyebben kivitelezhető működőképes programok, gépek.

A szimbolikus elvek mentén fejlesztett programok, rendszerek legfőbb problémája, hogy csak korlátozott közegekben teljesítenek jól. A kibányászandó, feldolgozandó adat mennyiségének és a számítási kapacitás drasztikus növekedésének következtében ezek a közegek azonban egyre tágulnak, nehezebben kezelhetők. Az alulról felfelé „építkező” konnekcionizmuson alapuló megoldások viszont általában még a komplexitásnak eddig a szintjéig sem jutnak el.

A viszonylagos sikertelenség hatására mind jobban elfogadott az a vélekedés, mely szerint a *két* – egyaránt nélkülözhetetlen – *megközelítés szintézisére* lenne szükség. A következő öt-tíz évben a szintézist érvényesítő fejlesztések szélesebb körű elterjedése, majd általánossá válása várható.

4.3 Molekuláris számítások

Az élő anyagot (például DNS-molekulákat) is tartalmazó infokommunikációs eszközök nem kísérleti célú előállítását hátráltatja, hogy a szén ugyan használható számítási szerkezetek alapelemeként, viszont a szilícium – ma még – sokkal alkalmasabb a kurrens gyártásra, feldolgozásra.

A növekvő tudományos érdeklődést részben az magyarázza, hogy *erősen párhuzamos feldolgozást igénylő feladatok esetén az organikus molekulák jól alkalmazhatók*. A másik ok a – potenciális – molekuláris számítógépek várható olcsósága, kis mérete. Ugyanakkor lassúságuk miatt valószínűtlen, hogy a közeljövőben helyettesítenék a szilíciumalapú feldolgozást. Főként az várható, hogy a molekuláris technológiák a következő évtized első felétől kiegészítik a szilíciumalapút, hibrid megoldások jönnek létre, például olyan számítógépek gyártása során, amelyekhez szénből készült nanocsöveket is felhasználnak.

5. (Matematikai) számítástudományi alapok

A *jelfeldolgozó gépek* (például számítógépek) *absztrakt matematikai elméletek*ént (is) definiálható számítástudomány e gépek tervezésének és működtetésének – az informatikának – a matematikai alapjaival foglalkozik. Mivel rendkívül széles

spektrumot fed le, csak az infokommunikációs technológiák közeljövőjét leginkább meghatározó részei kerülnek bemutatásra.

5.1 Matematikai logika

A szimbolikus logikából kifejlődött, matematikai rendszereket, következtetési sémákat, szabályokat, definíciókat és bizonyításokat a tudományterület módszereivel vizsgáló (régbben kissé filozofikus ihletettségű) matematikai logika alkalmazás-szintű áttörése a számítógépek megjelenésekor következett be. Azóta elméletiből szinte teljesen gyakorlati tudománnyá vált, és ez a folyamat a közeljövőben még markánsabb lesz. Módszereit szoftver- (mesterséges intelligencia, logikai programozás stb.) és hardverszinten (logikai áramkörök stb.) egyaránt alkalmazzák és várhatóan még gyakrabban, még szélesebb körben alkalmazni is fogják.

5.2 Kiszámíthatóság

A matematikai logika részterületének is tartott, egyes függvényeknek, műveleteknek más függvényekkel való megoldásával foglalkozó *kiszámíthatóság-elmélet* szintén a számítógépek megjelenése előtt kialakult. A számítástudománynak ez az ága hagyományos matematikai fogalmakra alapoz, azokkal próbál választ találni arra a kérdésre, hogy *mi számítható ki a jelenlegi számítógépes modellel*, illetve mi nem. A számítási eljárások, algoritmusok precíz leírásának, tágabb értelemben mindenfajta problémamegoldó folyamat modellezésének kevésbé hagyományos megközelítését a valódi digitális számítógépek leegyszerűsített modelljei, az *absztrakt automaták* (például a *Turing-gép*) jelentik, amelyek eredetileg azt vizsgálták, hogy számítógép segítségével lehet-e hünen szimulálni, modellezni, esetleg reprodukálni az emberi gondolkodást. A Turing-gépek eszméje *elvileg* különféle matematikai és informatikai kiszámíthatósági paradigmák (például az algoritmusok párhuzamosítása) konkrét és gyors megvalósításához is használható lesz, mivel az információhordozó DNS- és RNS-molekulák és maga a sejt (mint központi feldolgozóegység) elképesztő sebességű, párhuzamosan kapcsolható Turing-gépnek is tekinthetők. A gén- és nanotechnológia jelenlegi színvonala azonban még nem teszi lehetővé a kivitelezést.

5.3 Formális nyelvek

A Turing-gépek és hasonló (például fordító) automaták ugyanúgy a számításelmélet szakterülethez tartoznak, mint a formális nyelvek és nyelvtanok, amelyek egyrészt a forráskódot a számítógép számára értelmezhető utasításokra (magasabb szintű programnyelven írt programot alacsonyabb szintűre) *fordító* (compiler) és a végrehajtás alatt folyamatosan *értelmező* (interpreter) *programok*, másrészt – a matematikai nyelvészetten keresztül – a szövegelemzés alapjait jelentik. A fordítóprogramok különböző formális nyelvtanokkal való leírásának matematikai elméletéből alakult ki a jelentésalapú technológiák fejlődésében fontos szerepet játszó *formális szemantika*. A formális nyelveket meghatározó nyelvleíró eszközök fogalma az elmúlt két évtizedben lényeges új elemekkel bővült, általánosabb érvényűvé vált. Újraértelmeződött a hagyományos szabály fogalma, a nyelvek leírása grammatikák helyett grammatikarendszerekkel történik, ami maga után vonja a szintaktikai bonyolultság fogalmának változását, kiterjesztését is. Az ezen a területen végzendő kutatások a

szimbolikus leírások adta lehetőségek határainak, a forma és a méret szerepének jobb megértésében segítenek majd.

5.4 Információelmélet

Az információelmélet az *információ mennyiségével kapcsolatos kérdések* vizsgálatával foglalkozó határterülete az alkalmazott matematikának és a villamosmérnöki tudományoknak. Kezdetben elsősorban az információ átvitelének területén alkalmazták (tömörítési algoritmusok, kódelmélet stb.), jelenleg széles körben használják, például a természetes nyelvek szemantikájával, statisztikával, kriptográfiával kapcsolatos témakörökben is, valamint a különböző típusú hálózatokban végbemenő folyamatok elméleti megalapozásánál.

5.5 Algoritmusok elmélete

A számítógép csak azt a szűk utasításkészletet tudja végrehajtani, amit gépi utasításként benne tárolnak. Ha a felhasználó egy problémát számítógéppel akar megoldani, érthető utasításokkal kell megadnia a megoldás menetét, amihez először ki kell dolgoznia a feladathoz megfelelő algoritmust.

Számítógépes algoritmusok fejlesztésével már a számítógépek megjelenése előtt foglalkoztak, a fejlődése azóta is töretlen. A konkrét algoritmusok létrehozása mellett az algoritmuselmélet fontos kérdése a *különböző algoritmosztályok bonyolultságának vizsgálata*.

A mesterségesintelligencia-kutatással – és tágabb értelemben a számítástudománnyal – sok átfedést mutató kognitív tudomány elterjedésének hatására az algoritmusok elmélete, a legkülönbözőbb fajták létrehozása az egyik legkiemeltebb és dinamikusan kutató szakterületté vált. A trend hosszútávú folytatása várható.

5.6 Diszkrét matematika

A nem-folytonos jelenségeket vizsgáló diszkrét matematika különböző ágai – kombinatorika, gráfelmélet, véges és diszkrét geometriák, játékelmélet, kombinatorikus számelmélet – a számítástudományi és az informatikai alkalmazások miatt váltak népszerűvé az utóbbi két évtizedben. Az alkalmazhatóság elsősorban azzal magyarázható, hogy *fogalmi apparátusa, rendszerei rendkívül jól felhasználhatók változatos számítási problémák leírására, tanulmányozására, megoldására*.

Jelenlegi és közeljövőbeli alkalmazási területei a következők: számítógépes képelemzés, kriptográfia, kriptóanalízis, kriptológia, véges automaták, formális logika, számításelmélet, lineáris programozás, operációkutatás stb.

Nagyon jelentős alkalmazási terület a különböző jellegű hálózatok elméleti alapjainak, valamint tervezési és üzemeltetési kérdéseinek a gráfelmélet segítségével történő vizsgálata.