

A világ legkisebb számítógépei

Dr. Madarász László, madarasz@3lan.hu

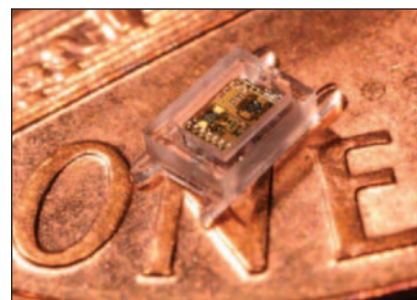
A mikroelektronikával foglalkozók körében közismert a Moore-törvény. Ennek értelmében az 1960-as évek közepe óta kb. két évenként megduplázódik az egy csipen kivitelezhető tranzisztorok száma. A törvényről, mai működéséről bővebben olvashatnak az [1] cikkben. Létezik egy másik törvényszerűség is, a Bell-törvény, amely kevésbé ismert.

Gordon Bell amerikai számítógépmérnök az 1972-2000 évek tapasztalatai alapján fogalmazta meg azt a meglátását, hogy minden új évtizedben megjelenik egy új osztálya a számítógépeknek, melynek legfontosabb ismérve a jelentősen lecsökkent méret.

Ma ezt a törvényt az 1. ábrán látható módon szokták bemutatni. Az ábrán első szereplő számítógéposztályokat Bell jelölte ki, mint a fejlődés legfontosabb állomásait. Szerepelnek itt pl. a miniszámítógépek, a munkaállomások, a PC-k. Az egymás utáni számítógéposztályok, bár egyre kisebb méreteket jelentettek, ugyanakkor egyre nagyobb számítástechnikai képességeket mutat-

tak fel, egyre alacsonyabb árért. Az új számítógéposztály minden esetben új piacokat, új felhasználókat is jelentett, sok esetben új iparágakat is.

2010-ig az egymás utáni számítógéposztályokat képviselő eszközöket mind emberek működtették, ennek megfelelő kezelőszerveik, kijelzőik voltak. A további méretcsökkenés már nem teszi lehetővé a közvetlen emberi működtetést, így a kézi kezelőszervek nem is jelennek meg rajtuk. A milliméteres mérettartományú új számítógépek autonóm működésű intelligens érzékelők, jelfeldolgozók lesznek a szakértők szerint, vezeték nélküli adatkapcsolatokkal, sajátos energiaellátó megold-

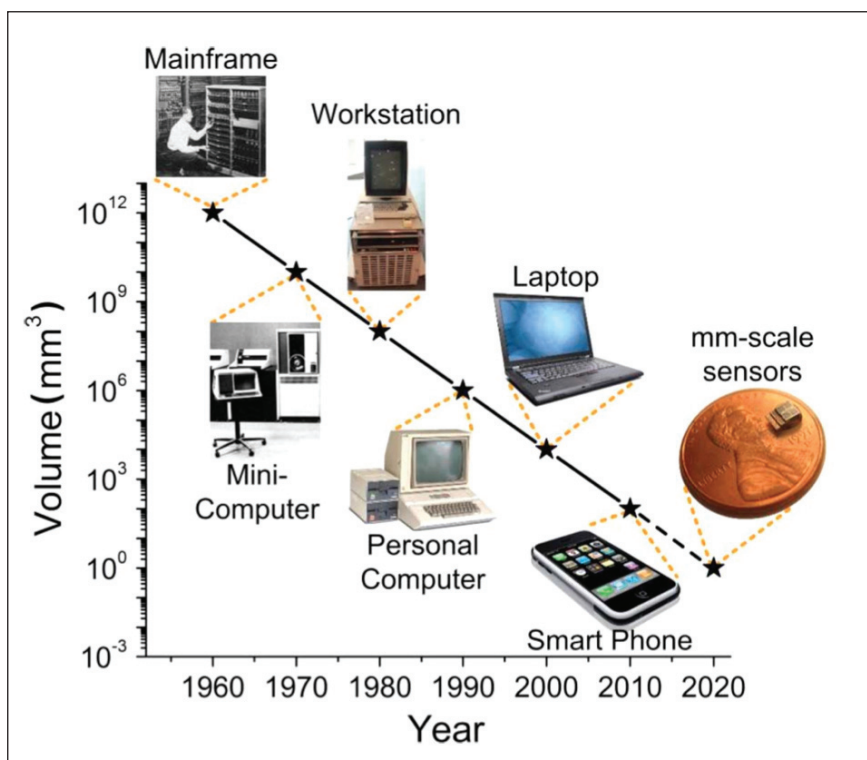


2. ábra

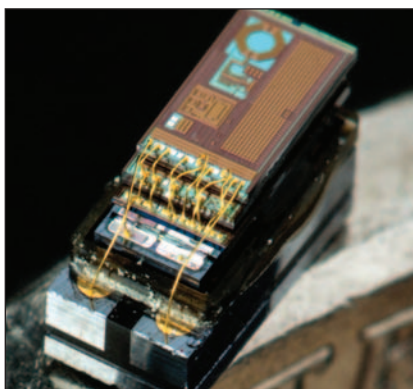
dásokkal. A továbbiakban az utóbbi években kifejlesztett ilyen eszközökből mutatunk be néhányat.

A 2011-es év legkisebb számítógépe

2011-ben a világ legkisebb számítógépét a Michigan-i Egyetem (University of Michigan, UM) kutatói építették meg (2. ábra). A fotón a parányi eszköz egy egycentes érmén látható. A Phonix fantázianevű készülék lényegében egy nyomásérzékelő. Azzal érdemli ki a „számítógép” megjelölést, hogy a szenzoron kívül mikrovezérlős jelfeldolgozót, fénylemes energiaellátó rendszert, akkumulátort és rádióadót is tartalmaz. A kis eszköz a mérési adatokat 60 GHz-es frekvencián sugározza. A Phonix fejlesztését orvosi igény hatására kezdték el. Az emberi szem belső nyomásának mérésére tervezték a készüléket, funkciójának megnevezése: Intra-Ocular Pressure Monitor (IOPM, szemben belül alkalmazható nyomásmonitor). Ha beültetik egy glaukómás beteg szemébe, akkor a nyomásértékeket távolról lehet monitorozni. Ez a betegség gyógyulási folyamatának követését, a kezelés optimalizálását teszi lehetővé.



1. ábra



3. ábra

A kis méretek számos új kihívást jelentettek az elektronikai tervezők számára. Jelentős innovációs feladat volt a rádióadó antennájának elkészítése, mivel az adóantennának egyik lényeges jellemzője a geometriájuk. A csip felületén kialakítható kisméretű antenna sikeresen oldja meg a feladatot. A kis készülék több csipből áll, melyeket tokozatlanul egymás fölött, szendvics-szerűen helyeztek el. Az egyes csipek így elrendezve lehetővé teszik a vezetékes összekapcsolásukat.

A teljes készülék $1,5 \times 2 \times 0,5$ mm méretű. Minden részletet úgy alakították ki, hogy a fogyasztás rendkívül kis értékű legyen. A fogyasztás csökkentését szolgálja az is, hogy a számítógép általában alvó üzemmódban van, 4-5 nW teljesítményszinten. 15 percenként ébresztik fel, amikor elvégez egy mérést (ennek teljesítményigénye is mindössze 15,3 nW), majd ismét stand-by állapotba kerül. Ha napi 10 órán át beltéri fényen van, vagy 1,5 órát kültéri napfényen, akkor folyamatosan tud üzemelni. A szilárdtest-akkumulátora 1 μ Ah kapacitású; kb. egy heti mért adatot képes tárolni a belső memóriájában.

Az egymásra fektetett csipek feladata a következő:

- MEMS, azaz mikro-elektromechanikai jellegű nyomásszenzor,
- tápellátó egység, ami a külső fényt használja és előállítja az akkumulátor töltőáramát,
- szilárdtest-akkumulátor és energiaellátó rendszer, az akkumulátorban tárolt energiát elosztja a készülék elemei között,

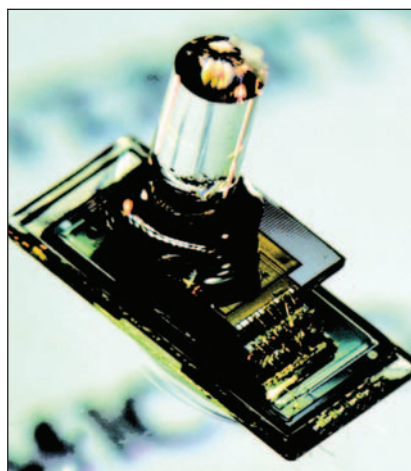
- mikrovezérlő és memória egység, ez végzi a működés időzítését, a szenzor jeleit átkódolja és átadja továbbításra a rádióadónak,
- rádióadó, a nyomásra vonatkozó adatok kisugárzására.

Az egész készülék biokompatibilis üvegtokozásba került, ezért lehetséges az emberi szervezetbe való beültetése.

A Phonix továbbfejlesztése, az M3

A felhasználáskor újabb ötletek vetődtek fel, további orvosi felhasználási lehetőségek, ezért az apró eszköz fejlesztése tovább folyt. 2015-ben az UM a Phonix továbbfejlesztett változatával újfent elnyerte a legkisebb számítógép készítője címet. A 2015-ös Michigan Micro Mote (M3) ismét a világ legkisebb számítógépe lett. Ez az eszköz tokozással együtt már csak 1 mm³ térfogatú, szemben a Phonix 1,5 mm³-ével. A felépítése hasonló elődjéhez, szendvics-szerűen összeépített csipek alkotják.

Energiaellátó rendszere az alkalmazáshoz illeszthető. Hosszú ideig működőképes egy beépített elemmel, működhet fényelemről, aminek a kimenete akkumulátorra csatlakozik, de a környezetből más módon is szerezhethet energiát (különböző energiagyűjtő, energy-harvesting megoldások építhetők be, pl. rezgési energia hasznosítása).



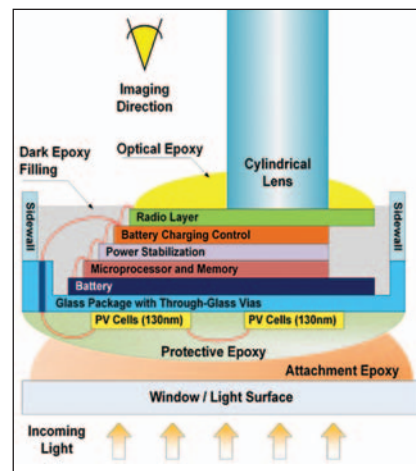
4. ábra

- Három változatban készült el:
- hőmérsékletet mérő számítógép,
 - nyomást mérő számítógép,
 - képfeldolgozó számítógép.

A 3. ábrán egy hőmérő eszköz látható. A méreteit érzékelteti, hogy egy egycentes pénzérme élére helyezve fotózták le. A 4. ábrán a képfeldolgozó készülék látható, ennek belső szerkezetét az 5. ábra mutatja be. Ez a kis számítógép 160 × 160 képpontból álló kép feldolgozását végzi el.

A kis készülékek nyugalmi (stand-by) fogyasztása 35-40 pW készlenléti állapotban, a mérési periódusokban a kialakítástól függően 15-20 nW.

A tesztelek és az első alkalmazások után számos újszerű felhasználási lehetőség is felvetődött. A már említett biokompatibilis üveggel borítva ez is beültethető élő emberi szövetekbe, szervekbe, így a szövetekben, szervekben lévő hőmérséklet, nyomás monitorozható velük. Az MM3 felhasználási lehetőségei folyamatosan bővülnek, EKG jeleket közvetíthetnek, a da-ganatok hőmérsékletét, alakját, méreteit követhetik segítségével az orvosok, megfigyelhetik egyes vegyi anyagok szintjének alakulását a szövetekben. A környezetvédők a levegő, az ivóvíz állapotát figyelhetik meg felhasználásukkal. Hidak, útpályák, vasúti sínek állapotát is vizsgálhatják alkalmazásukkal. Sok alkalmazási lehetőség adódik a szállítás, az energiagazdálkodás területén, a háztartásokban is.



5. ábra

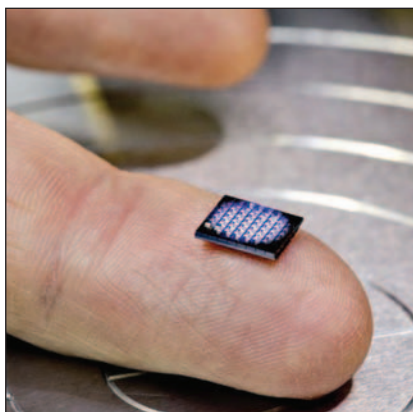
Új rekorder 2018 márciusában

2018 márciusában jelentette be az IBM, hogy előállította a világ legkisebb számítógépét. A több folyóiratban is megjelentetett bejelentés első fotóján (6. ábra) egy ujjbegyen látható egy apró eszköz. Azután a szövegből kiderül, hogy amit látni lehet, az nem egyetlen számítógép, hanem 64 apró panel egymás mellett, mindegyiken két rekorder számítógéppel. Bizonyítékul egy második fotón az új számítógép sókristályok között helyezkedik el (7. ábra).

A felhasználási lehetőségekről nem emlékezik meg a leírás. Annyit közöl, hogy több százezer tranzisztort tartalmaz az 1×1 mm-es méretű csip, amelyek processzort, RAM-ot és kommunikációs elemeket alkotnak. A táplálásról fényelem gondoskodik, a kommunikációt is fényjelekkel valósították meg, amihez a csipen fényérzékelőt és LED-et helyeztek el. Mivel az UM korábban bejelentett legkisebb számítógépe ennél jóval nagyobb, a megtisztelő cím ezután az IBM eszközt illeti.

Ismét az UM az élen

A Michigen-i Egyetem kutatócsoportja hangoztatta, hogy ők nem Guinness rekordra törtek az apró eszközök fejlesztésekor. Az orvosok igényeltek először a glaukómás betegek állapotának megfigyelésére beültethető, vezeték nélküli, hosszú ideig mű-



6. ábra

ködő nyomásmérő eszközt, majd a rákos megbetegedésekkel foglalkozók számára készült az implantálható apró hőmérő. A beültethetőség szabta meg a méreteket, ezért kellett a lehető legkisebb térfogatú eszközöket megalkotni, így a rekordok mintegy „mellékhatásként” jelentkeztek.

Az IBM bejelentését olvasva az UM munkatársai felvonták a szemöldöküket. A „riválisok” szinte azonos tartalmú cikkekben üdvözölték magukat, mint a világ legkisebb számítógépének megteremtői, utaltak az UM eredményeire, kiemelték, hogy az ő számítógépük 1×1 mm-es méretű. Ennél sokkal többet nem is lehet megtudni az IBM számítógépről, de annyi bizonyos, hogy a kezeléséhez külső eszközöket kell csatlakoztatni hozzá, így lehet programozni, s a külső táplálás megszűnése a program elvesztését is jelenti. Az UM eszközei emberi szervezetbe való beültetésre alkalmas *autonóm* számítógépek.

El kell fogadnunk az UM kritikáját, hiszen a Phonix, az MM3 eszközökből a programjaik nem vesznek el, ha nincs kapcsolatuk a külvilággal, önálló feladatot hajtanak végre a méréstől az adatfeldolgozásig.

Ekkor kifejezetten a világ legkisebb számítógépének kifejlesztéséhez láttak hozzá, amit 2018 júniusában be is mutattak. Az IBM eszköz kommunikációs megoldását tápellátási rendszert alkalmazták, ugyanakkor az eszközük kisebb, mint az IBM címvédője, így ismét az UM-é a



7. ábra

legkisebb számítógép. Ugyanakkor továbbra is konkrét funkcióval rendelkeznek, hőmérséklet mérésére alkalmas. A $0,3 \times 0,3 \times 0,2$ mm méretű, $0,018 \text{ mm}^3$ térfogatú eszköz kisebb, mint az IBM büszkesége. A hőmérsékletmérés felbontása $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Az új számítógép fényvel kommunikál, így lehet felprogramozni, így állíthatóak be a működési paraméterei. Az eredményeket is fényvel közvetíti. Az UM kutatói elismerik, hogy ez nem egy általános célú számítógép, de annyira számítógépnek tekinthető, amennyire az IBM áramköre.

A készülék egy bázisállomással működik együtt, ez tudja a programozó és beállító fényjeleket előállítani, ez fogadja a visszaérkező információt is. A bázisállomása egy további fény sugar segítségével biztosítja a tápellátást. Ez a kisméretű számítógép is betekozható biokompatibilis üveggel, így ez is alkalmas emberi szervezetbe történő beültetésre, akár egy daganatos szövet hőmérsékletét is monitorozhatja. Az üvegtokozás miatt a saját LED fénye is zavarta az áramkör működését, és a környezeti hulladéklények is. Mindezt a problémát sikerült a kutatócsoportnak megoldania. A kis fogyasztás érdekében igen alacsony jelfeszültségeket használtak, ami ismét zavarhatóvá tette az eszközt, további speciális megoldásokkal lehetett az elektromágneses zavarok ellen megvédeni az apró számítógépet. A gép Cortex-MO+ processzort tartalmaz, fogyasztása 16 nW . Készül hozzá olyan kiegészítő elem is, amely audio- és videojelek fogadására teszi alkalmassá az eszközt.

Lehet, hogy most ismét az IBM lép majd?

Felhasznált irodalom:

1. Dr. Madarász László: A digitális CMOS áramkörök 2000-2020 között. Rádiótechnika Évkönyve 2020. 150-167. o.
2. Az University of Michigan és az IBM hivatalos internetes oldalai és közleményei