

Megbogarasodott a mikroelektronika!

Dr. Madarász László okl. villamosmérnök, madarasz@3lan.hu

Az informatikai fejlesztések fontos lépése a hibakeresés, a „debug” folyamat. A „bug” (bogár) megkeresése sokszor nehéz, időrabló feladat, akár a szoftverben, akár a hardverben rejtőzik. A legújabb mikroelektronikai fejlesztéseknél azonban a legkisebb élőlények, a vírusok, baktériumok vagy azok alkotórészei esetenként már az áramkörök építésének, működésének fontos elemei. A következő oldalakon néhány ilyen értelemben „megbogarasodott” áramköri megoldást mutatunk be, röviden megvizsgálva azt is, hogyan működnek ezek az eszközök.

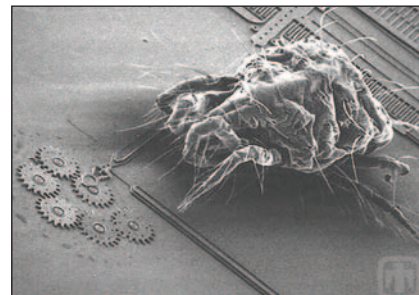
Az informatikai rendszer hibáját már a kezdetek kezdetén bogárnak (bug) becézték. Az első írásos megjelenése *Ada Lovelace*-tól származik, aki *Charles Babbage* analitikai gépének programozásával kapcsolatban írt így a programhibákról 1840 körül. Később a hardver-szoftver hibát már általában a „bug” elnevezéssel illeték. Az egyik közismert anekdota ezzel kapcsolatban a következő. Az IBM egyik legelső számítógépénél, a jelfogókból épített MARK II-nél 1947 szeptemberében egy hibakeresés eredményeként *Grace Hopper* (a Szoftver Nagymamája) az egyik jelfogó érintkezői között megtalálta a hibát okozó molylepkét. Beragasztotta az üzemeltetési naplóba egy darab cellul alá, s mellé írta: „Íme, az első valódi bogár, megtaláltuk” (1. ábra)!

Az IBM PC megalkotása óta minden tulajdonosnak van hibakereső (debug) programja is, bár sok mai felhasználó nem is tud erről. A Windows Start menü Futtatás ablakába beírva, hogy „debug”, megjelenik egy új ablakban egy gondolatjel. Ha ezt követően egy kérdőjelet ütünk le, majd Enter-t nyomunk, a Debug program felsorolja a lehetséges parancsokat. Ezek ismeretében el lehet kezdeni kísérletezni, pl. megvizsgálhatjuk a memória tartalmát.

A bug, a bogár tehát egy kellemetlen, hibás működést okozó jelenség. Érdekes módon azonban, ha nem is bogarakat, de még ezeknél is kisebb, egyszerűbb élő szervezeteket ma már szándékosan be lehet építeni áramköri rendszerekbe! Hogyan jutottunk el az ilyen megoldásokhoz?

A jelfogós számítógépeket követték az elektroncsövesek, a tranzistorosok, az alacsony integráltsági fokú IC-sek, s ezután az egyre hatékonyabb, gyorsabb mikroprocesszorokra, mikrovezérlőkre épülő készülékek. És ebben a modern környezetben ismét egy „bogár”, pontosabban egy „szoftver mikroorganizmus” jelent meg, a vírus. Igaz, a számítógépek vírusai rosszindulatú programok, de terjedési, szaporodási módjuk miatt rokonságban állnak a biológiai vírusokkal.

A mikroelektronika eszköztárával nemcsak áramköri részleteket lehet kialakítani a félvezető felületén, hanem mechanikai, mozgó elemeket is; ezek előállításával foglalkozik a MEMS (mikroelektromechanikai rendszerek, Micro-Electromechanical Systems) technológia. Az első mikroelektromechanikai megoldások mikroszkópius felvételein már megint szerepet kaptak az apró bogarak, sokszor ezekkel szemléltették a kis fogaskerekek, egyéb elemek méreteit (2. ábra). De ebben a mikrovilágban, ami már sokszor inkább nanovilág, fontosabb szerepet is kaphatnak a legkisebb élő szervezetek, igaz, nem a bogarak, hanem a vírusok és a baktériumok. Ezekről a lehetőségekről gyűjtöttünk össze egy csokorra való, s mutatjuk be a következő oldalakon. A felhasznált mikroorganizmusok, a vírusok és a baktériumok legfontosabb tulajdonságait itt a bevezetőben mutatjuk be, így az egyes alkalmazások már érthetőek lesznek.



2. ábra

A vírusok a legkisebb, legegyszerűbb felépítésű mikroorganizmusok, mérettartományuk 20...400 nm. Létezésüket *Dmitrij Ivanovszkij* igazolta 1892-ben, a dohánymozaik-vírust (Tabacco Mosaic Virus; TMV) sikerült kimutatnia. A vírusokat csak az 1931-ben felfedezett elektronmikroszkóppal lehetett megpillantani.

A vírus az élő és az élettelen határán van. Az önálló, gazdatesen kívül létező formája a virion. Ebben az állapotában nem mutat életjelenségeket, önálló mozgásra képtelen. Lényegében a vírus ekkor nem egyéb, mint fertőzőképes genetikai információ. Nukleinsavból (egyszálú RNS, esetenként a két RNS szálból kialakuló kettős helix, DNS) és az azt kívülről borító fehérjeburokból áll. A baktériumokat megtámadó vírusokat baktériumfágnak nevezik.

A mikroelektronika eszköztárával nemcsak áramköri részleteket lehet kialakítani a félvezető felületén, hanem mechanikai, mozgó elemeket is; ezek előállításával foglalkozik a MEMS (mikroelektromechanikai rendszerek, Micro-Electromechanical Systems) technológia. Az első mikroelektromechanikai megoldások mikroszkópius felvételein már megint szerepet kaptak az apró bogarak, sokszor ezekkel szemléltették a kis fogaskerekek, egyéb elemek méreteit (2. ábra). De ebben a mikrovilágban, ami már sokszor inkább nanovilág, fontosabb szerepet is kaphatnak a legkisebb élő szervezetek, igaz, nem a bogarak, hanem a vírusok és a baktériumok. Ezekről a lehetőségekről gyűjtöttünk össze egy csokorra való, s mutatjuk be a következő oldalakon. A felhasznált mikroorganizmusok, a vírusok és a baktériumok legfontosabb tulajdonságait itt a bevezetőben mutatjuk be, így az egyes alkalmazások már érthetőek lesznek.



1. ábra

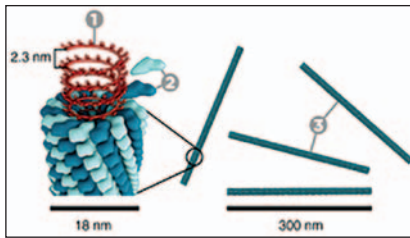
Fertőzéskor a vírus bejuttatja a gazdasejtbe a nukleinsav-tartalmát, ennek hatására a megtámadott sejtben több százezer példányban lemásolódik a vírus, miközben a gazdasejt elpusztul. Az új vírusok a széteső gazdasejtből kiszabadulva ismét fertőzőképesek. A fertőzött sejt belsejében a vírus anyagai mozgásra képesek, a vírus ebben a környezetben szaporodik, azaz életjelenségeket mutat.

Bár a legegyszerűbb élő szervezetek, időben nem lehetnek az elsők, hiszen szaporodásukra teljes sejtekre van szükségük. Valószínűleg sejtekből „elkőborolt” örökítőanyag-darabokból, genetikai anyagtörmelékből, hulladékból keletkezhetnek az első vírusok.

A mikroelektronikai fejlesztéseknél felhasznált vírusok pálcá alakúak, hosszúságuk sokkal nagyobb, mint a szélességük (ill. átmérőjük). A magasság/szélesség arányt (Aspect Ratio) akkor tekintik nagyknak, ha meghaladja a 10-es értéket. A felhasznált vírusok esetében ennél nagyobb ez az arányszám.

Máig az egyik legtöbbet vizsgált, kutatott vírus a dohánynövény leveleinek mozaikos foltosodását okozó TMV (3. ábra; 1: RNS, 2: protein, 3: TMV). Átmérője 18 nm, hosszúsága 300 nm. Belsejében az örökítő anyag RNS, ami spirálisan feltekeredve tölti ki a vírus belső üregét, „menetemelkedése” 2,3 nm. Ezt a feltekeredett óriásmolekulát borítják kívülről a protein molekulák. A 300 nm hosszú vírus protein burkolatát 2130 egyforma protein-molekula alkotja. Rendkívül ellenálló vírus, így pl. a cigarettában is megtalálható, túléli a dohánylevél feldolgozását!

Egy másik közismert vírus az M13, ami bakteriofág (4. ábra).



3. ábra

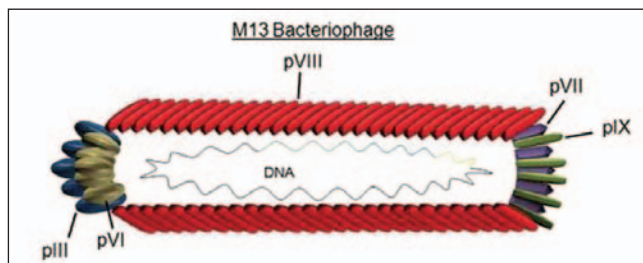
Az *E. Coli* baktériumot fertőzi. Hossza 880 nm, átmérője 6,6 nm. Örökítő anyaga DNS, amit a g8p jelzésű fő burkoló protein (Major Coat Protein; MCP) vesz körül. Ennek a vírusnak a külső burkoló hüvelyét 2700 darab protein molekula alkotja. A vírus két végén más típusú protein molekulákat lehet találni, ezek érzékelőként szolgálnak, illetve a baktérium megtámadásakor ezek biztosítják a tapadást és a DNS „beoltását” a baktérium belsejébe (5. ábra).

A baktérium már egy teljes élő sejt (6. ábra), többretegű sejtfallal, de még sejtmag nélkül. Pontosabban fogalmazva a baktériumnak van sejtmag-állománya, ami egyetlen DNS-molekula (bakteriális kromoszóma), de ezt nem veszi körül maghártya. Négy milliárd éve léteznek a Földön, Antoni van Leeuwenhoek fedezte fel a létezésüket, amikor maga készítette 200-szoros nagyítású mikroszkópjával 1674-ben megpillantotta őket. (Az eszközei valamilyen kifinomult technológiával csiszolt apró üveg-gömbön, mint nagyon rövid fókuszu gyűjtőlencsén alapultak, így inkább lupénak nevezhetnénk, mint mai értelemben vett mikroszkópnak. A szerk.) Általában néhány um-es méretűek, gömb- vagy pálcika alakúak. Mindenhol megtalálhatóak, a sztratoszférában éppúgy, mint a tengerfenék iszapjában. Rendkívül ellenállóak, és

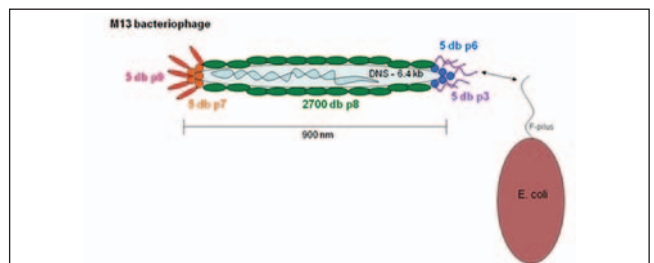
szaporák (a legtöbb faj húsz percenként szaporodik!). A sejtfalon kívül még egy ún. tok is védi a legtöbb baktériumot.

Sok esetben ostort (flagellum) találunk rajtuk, esetenként többet is. Az ostor 20 nm átmérőjű, akár 20 um hosszúságú tömör, merev, fehérje anyagú szerv, amit a baktérium két irányban tud forgatni. Az egyik irányú forgás a sejtet előre mozgatja, a másik irányú forgatás hatására bukdácsoló mozgást végez a felületen, amihez tapad. A sejt felületén további szájakat is lehet találni, melyek nem az aktív mozgás szervei, ezek a pilusok. A pilus (pili) a pilin nevű különleges fehérjéből áll. A rövidebb fajta (fimbria) általában szörzetszerűen a teljes sejt felszínét beborítja, ezer szál is lehet egy baktériumon. A fimbriák a felülethez tapadást szolgálnak, a bukdácsolva haladó mozgásban is jelentős a szerepük. A hosszabb pilusok vastosabbak, legfeljebb tíz van egy baktérium felszínén. A sejtek közötti génátadásban van jelentős szerepük, esetenként érzékelőként, kommunikációs elemként szolgálnak.

Egy jól ismert, a későbbiekben gyakran szereplő baktérium az *E. Coli* (*Escherichia Coli*, 7. ábra). Sok változata ismert, lehet ostoros vagy ostor nélküli, legtöbbször tok nélküli, de lehet tokos is. Aerob jellegű (azaz oxigén jelenlétében képes táplálkozni, szaporodni), de fakultatív anaerob is (azaz oxigénhiányos környezetben is életképes, ilyen körülmények között erjedéssel biztosítja az anyagcseréjét). A 8. ábrán három ostorral mozgó *E. Coli* baktériumok láthatóak. Gyorsan szaporodó típus, kedvező feltételek mellett összefüggő,



4. ábra



5. ábra