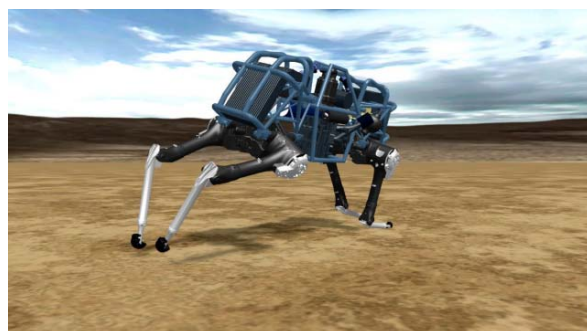
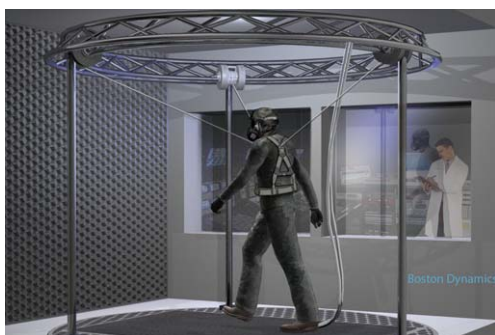


# AMIKOR A ROBOT KEZE MEGREMEG: DIGITÁLISAN SZABÁLYOZOTT GÉPEK KAOTIKUS REZGÉSEI

## A digitális szabályozás sajátosságai

A tudományos hírek között gyakran találkozhatunk újabb és újabb robotok kifejlesztésével kapcsolatos tudósításokkal. Rövid internetes keresés után feltűnővé válik, hogy – míg például a legújabb robotkutyák már csaknem élethűen utánozzák az igazi kutyák mozgását –, az emberszabású robotok meglehetősen darabosan mozognak. A robot mozgását megoldó mechanizmus elkészítése viszonylag könnyű. Az igazi nehézséget a szabályozás megoldása jelenti, tehát az, hogy a robot megfelelően helyezze át a súlypontját sétálás közben, vagy ne essen hasra akkor sem, ha hátba veregetik.



1. ábra: A Boston Dynamics cég által fejlesztett robotember és robotkutyá.

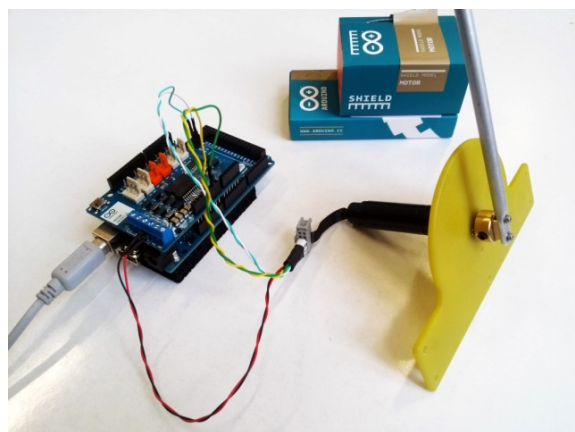
A szabályozás legtöbbször egy egyszerű megfontoláson alapul: olyan erővel kell hatni a szabályozni kívánt testre, ami az előírt sebességtől vagy előírt pozíciótól való eltéréssel arányos. Úgy képzelhetjük a szabályozó rendszert, mint a rugót és a lengéscsillapítót a járművek futóművében: a rugóban a deformációval arányos, a lengéscsillapítóban pedig a sebességgel arányos, azzal ellentétes erő ébred. A modern berendezésekben szinte egyeduralgató a számítógépes szabályozás. Kezdetben ugyanúgy tervezték ezeket is mint az analóg rendszereket, de kiderült, hogy elvi különbség van a kettő között, az úgynevezett digitális hatások miatt. A számítógép ütemesen végzi a feladatokat: egy adott pillanatban megméri az elmozdulást és a sebességet, kiszámítja, hogy mekkora erővel kell beavatkozni és körülbelül egy ezred másodperc **késéssel** hatni kezd ez az erő. Persze ezzel egy időben újabb mérés történik és egy újabb ezred másodperc múlva már egy más nagyságú erő hat a szabályozott testre. Ez azt jelenti, hogy a számítógép legfeljebb csak becsülni tudja, hogy két **mintavételezés** (mérés) között mi történik, ráadásul mindig legalább egy ezred másodperccel korábbi adatokból – nem az aktuális pozícióból és sebességből – számítja ki a szabályozó erőt.

További probléma adódik abból, hogy a számítógép csak véges sok biten tudja tárolni a mérések eredményét, ezért a mért értékeket **kerekíti**. E három hatás – a mintavételezés, a kerekítés és a késés – közül ez utóbbi természetesen szerepet játszik az emberi egyensúlyozásban is, hiszen az agynak is szüksége van valamennyi időre a megfelelő reakciók kiszámításához.

A digitális hatások miatt a számítógéppel szabályozott rendszerek nemlineárisak, következésképpen bizonyos körülmények között kaotikusan viselkedhetnek. Ezt a jelenséget **mikro-káosznak** nevezik, mert a kis kerekítési hiba és a gyors mintavételezés miatt nagyon kicsi a kaotikus rezgések amplitúdója. Néhány egyszerű modell kaotikus voltát már sikerült bebizonyítani, ami arra utal, hogy a valóságos digitális szabályozások is sokkal gyakrabban járnak kaotikus rezgésekkel, mint eddig gondolták. Tehát a jelek szerint a robotok „keze” is remeghet!

### A kutatócsoport eredményei

Az MTA-BME Gépek és Járművek Dinamikája Kutatócsoportban több éves múltra tekint vissza a digitális szabályozások vizsgálata. A téma kutatását részben a kutatócsoport részvételével készült ACROBOTER szervizrobot szabályozásának megtervezése motiválta, de az alkalmazott modellek az emberi szabályozó rendszerek működésének megértésében is segíthetnek, utat nyitva az orvosi alkalmazások felé.

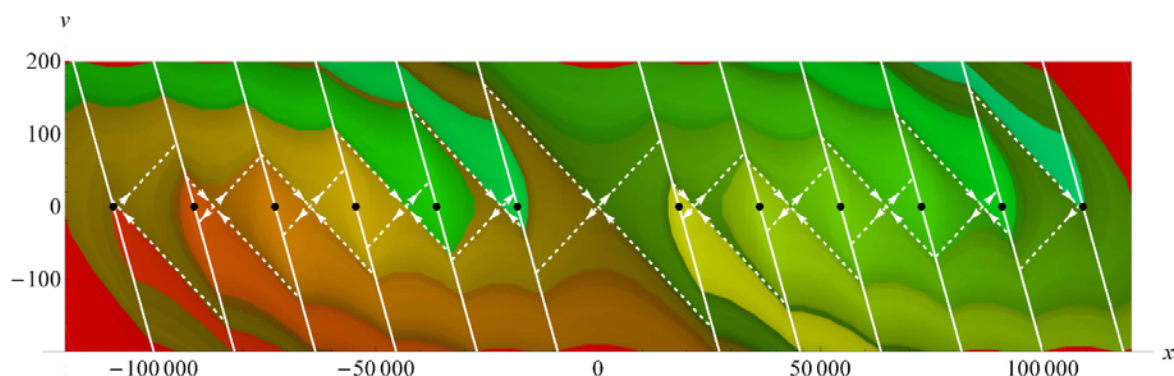


2. ábra: Az ACROBOTER robot és a digitális szabályozás vizsgálatára épített kísérleti eszköz.

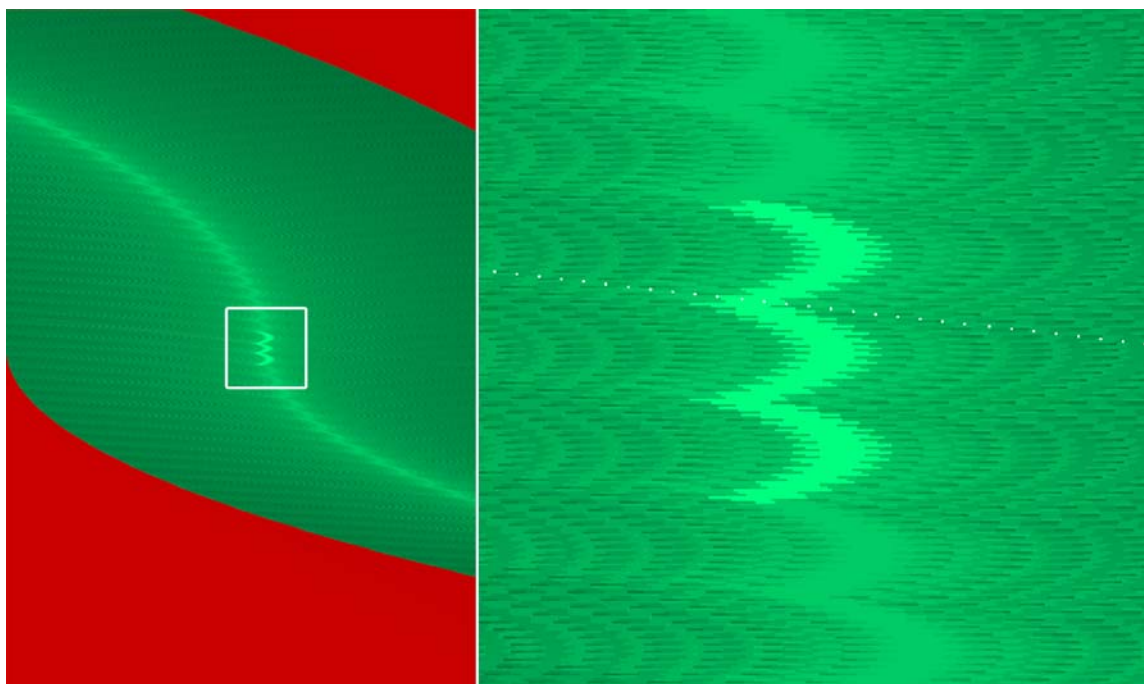
A beszámolási évben a kis szabadsági fokú mechanikai rendszerekben, például felfelé fordított – ún. inverz – inga egyensúlyozása során (mely a humanoid robotok egyensúlyozását modellezi) jelentkező **mikro-káosz** vizsgálata állt a kutatómunka középpontjában.

A digitális szabályozás sajátosságai miatt előfordulhat, hogy egy szabályozott inverz inga nem a függőleges helyzet, hanem egy kissé megdőlt helyzet körül végez szemmel alig látható kaotikus rezgéseket. Sőt, mivel több ilyen helyzet is lehet, az inga az indítási feltételektől függően hol az egyik, hol a másik helyzethez tart. A rezgések – kis amplitúdójuk miatt – nem számottevőek gyakorlati szempontból, viszont a függőlegestől való eltérés nagy szabályozási hibát okozhat. A kutatócsoport egyik fő célja ennek a szabályozási hibának a becslése volt, melyre egyszerű összefüggéseket sikerült levezetni. A jelenség vizsgálatához az ún. cella-leképezésen alapuló numerikus algoritmust fejlesztettek ki a kutatócsoport munkatársai. Ezzel a módszerrel jól elkülöníthetők egymástól az egymás melletti kaotikus attraktorok vonzási tartományai és megbecsülhető

az attraktorok mérete. Az eredmények alapján lehetőség van a kisebb szabályozási hibához – kisebb dőlésszöghöz – tartozó attraktorok vonzási tartományának növelésére a paraméterek megfelelő beállításával.



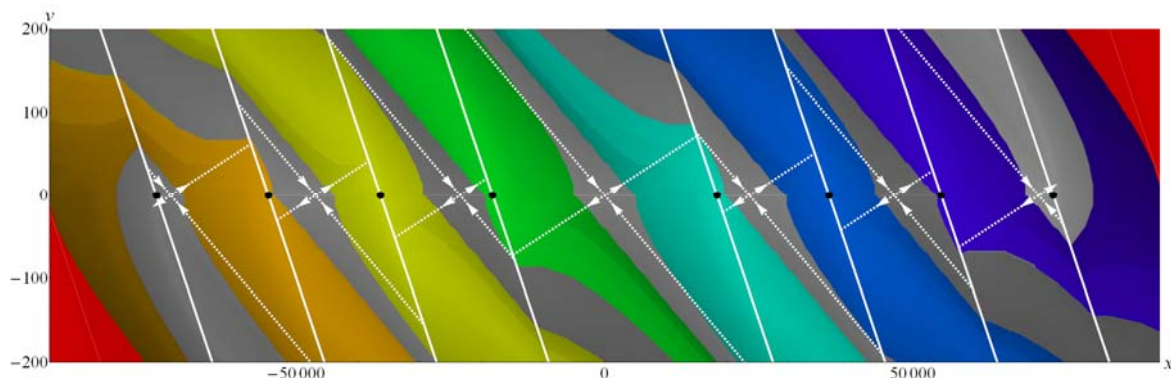
3. ábra: A cella-leképezéssel kapott eredmények sűrlődásmentes esetben. A fekete pontok a mikro-kaotikus rezgésekhez tartozó attraktorokat (azaz az inga különféle megdőlt helyzeteit) jelölik a kitérés-sebesség síkon. Mivel a kitérést a kerekítési hibához viszonyítjuk, az ábráról leolvasható, hogy a legnagyobb szabályozási hiba a kerekítési hiba többszöröse is lehet. A színes tartományok az egyes attraktorok vonzási tartományait mutatják.



4. ábra: A jobb oldalon felnagyítva látható világoszöld tartomány egy kaotikus attraktor. Az attraktortól távolodva az egyre sötétedő zöld színárnyalatok azt mutatják, hogy mennyi ideig tart egy adott kezdeti állapotból eljutni az attraktorba.

Az eredmények igazolása érdekében elkezdődött egy kísérleti eszköz készítése és tesztelése is (2. ábra). A mérési elrendezés pontos megtervezéséhez az elméleti eredmények általánosítására is szükség volt. Ennek keretében bizonyítást nyert, hogy a

kaotikus viselkedés súrlódás jelenlétében is megmaradhat. Ekkor stabil egyensúlyi helyzetek jelennek meg a kaotikus attraktorok között, tehát még több lehetséges végállapot létezik.



5. ábra: A cella-leképezéssel kapott eredmények súrlódásos esetben. A szürke tartományok azokat a kezdeti kitérés-sebesség értékeket mutatják, ahonnan indítva az ingát, az a súrlódás miatt valamilyen szöghelyzetben megáll.

Az eddigi biztató eredmények előrevetítik a kidolgozott módszerek alkalmazhatóságát bonyolultabb gépek, berendezések vizsgálatára is. Ennek érdekében a kutatók általánosították az eddig vizsgált egyszerű esetekben alkalmazott formalizmust a szabályozástechnikában kiemelt jelentőségű, ún. teljes állapot-visszacsatolásos lineáris rendszerek leírására is.

További ígéretes alkalmazási terület a biomechanika. A Magyar Tudományos Akadémia vendégprofesszori programja keretében a kutatócsoportban dolgozó John G. Milton az emberi egyensúlyozás vizsgálata kapcsán a mikro-kaoszhoz hasonló rezgéseket tapasztalt. A két jelenség kapcsolatának felderítése a közeljövő fontos feladata.