

Nano- és mikrorobotok

Összefoglalás

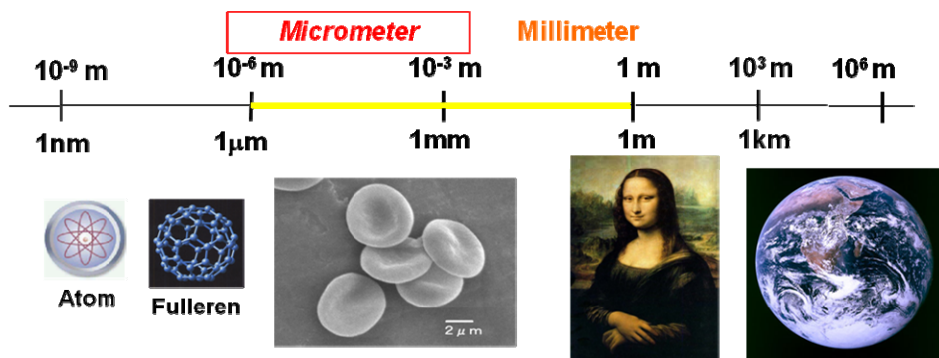
A robotika fejlődése a kisméretű, szenzorok, aktuátorok és intelligens rendszeremlek irányába halad, amelyek a mikro- és nanorobotok felépítésében mint eszközök és építőelemek szolgálnak. A különböző eszközök méretének csökkentése lenyűgöző dolgokat tesz lehetővé, mint pl. nanoobjektumok kezelését nanoeszközökkel, pikonewton méretű erők érzékelését és intelligens mikro- és nanorobotok mozgásirányításának megvalósítását. Ezek a képességek alkotják majd a jövő mikro- és nanorobotjait és ezeket a feladatokat végzik majd a mikro-elektromechanikus - MEMR és nano-elektromechanikus – NEMR rendszerek. Röviden bemutatjuk a Szegedi Tudományegyetem Informatika Doktori Iskolájában “A számítástudomány alkalmazásai” alprogram keretében a cikk szerzője által 2009 óta meghirdetett „Mikro- és nanorobotok” elnevezésű Ph. D. kurzust.

Kulcsszavak: Mikrorobotika; Nanorobotika; Mikroelektromechanikai rendszerek (MEMR), Nano-elektromechanikai rendszerek (NEMR), mikro- és nanoterek, mikroszerelés, nanoaktuátorok, nanoszenzorok.

1. Bevezetés

Az utóbbi években a robotikában elért fejlődés jelentősen megnövelte képességünket, hogy felfedezzük, észleljük, megértsük és irányítsuk a világon a folyamatokat a naprendszer peremétől egészen atomnyi méretekig (1. ábra), [1]. Egy nanométer 10^{-9} m, ez tízszerese az atom méretének. A nanométer és a milliméter között a beosztások száma 1 millió.

* Dr. Mester Gyula, egyetemi tanár, Újvidéki Egyetem, Szabadkai Műszaki Szakfőiskola, Szabadka, Szegedi Tudományegyetem, Természettudományi- és Informatika Kar, Informatikai Tanszékcsoport, Szabadka



1. ábra
Mikro- és nanométer méretek

A skála alján a technológia az anyagszerkezet szabályzása felé haladt, megvalósítva ezzel az anyag molekuláris szerkezetének szabályozását atomról-atomra, ezt Richard Feynman javasolta először 1960-ban a “látnoki” cikkében a miniatürizációról [2].

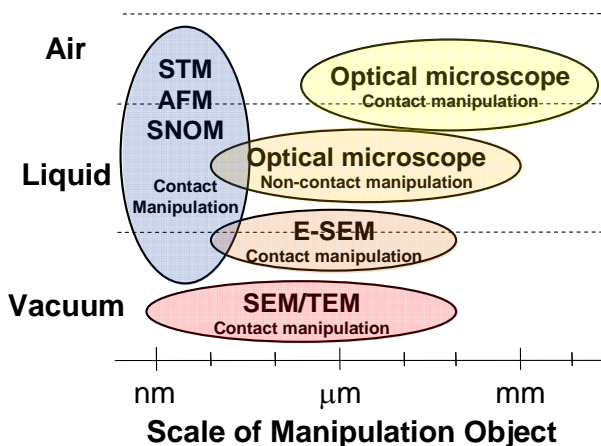
Egyes vélemények szerint informatikai, elektronikai, biológiai és kémiai ismeretekkel rendelkező szakemberekre – mikro- és nanorobotikai mérnökökre várhatóan hasonlóan nagy szükség lesz, mint egy-két évtizeddel ezelőtt a programozókra.

A robotika szűkebb kutatási területe a mikrorobotika miliméter-mikron méretű objektumok manipulációjával és autonóm robotágensek fejlesztésével foglalkozik. A mikrontól kisebb méretű nanorobotokat hasonlóan definiáljuk. A mikro-es nanorobotika területén a klasszikus Newton féle mechanika nem alkalmazható, itt a quantum mechanika uralja a mezőnyt. Bemutatjuk a mikro és nanorobot-kutatások legújabb eredményeit. Áttekintjük a mikro és nanorobot-manipulációs rendszereket külön figyelmet szentelve a mikro-elektromechanikus (*micro electromechanical system*, MEMS) és nano-elektromechanikus (*nano electromechanical system*, NEMS) rendszerekre.

2. Érzékelés nano- és mikroméreteken

Ezek a méreteken a megfelelő eszközök - mikroszkópok kiválasztása fontos. Pásztázó elektronmikroszkóp (SEM) 1966 óta kapható a kereskedelemben, azóta értékes eszköz a minták megtekintésében, sokkal jobb a felbontása és a mélységélessége, mint egy átlagos optikai mik-

roszkópnak. Hagyományos SEM-ekkel megoldható a nanométer méretű (~ 1nm) nagyítás, míg az optikai mikroszkóppal csak körülbelül 200nm. Transzmissziós elektronmikroszkóp (TEM) alkalmazásával megoldható az atomi méretű nagyítás 1Å-ig (hozzávetőlegesen 0.1nm).



2. ábra
Érzékelés mikro- és nanométer méreteken

3. Hajtások

Az elektrosztatika, elektromágnesség és a piezoelektronika alkalmazása alkalmas a nanométerű hajtások megvalósítására.

Elektrosztatikai töltés keletkezik az anyagban, ha a szabad elektronok felépülnek vagy elvesznek, igyekeznek az ellentétes polaritású tárgyak között vonzó erőt kelteni vagy taszító erőt az egyforma polaritású tárgyak között. Mivel az elektrosztatikus mezők gyorsan keletkeznek és tűnnek el, ilyen eszközök nagyon gyors műveleti sebességre képesek és kevésbé befolyásolja őket a környezet hőmérséklete. Elektrosztatikus mezők nagy erők kifejtésére képesek, de általában rövidtávon. Amikor az elektromos mező nagyobb távon kell, hogy hasson, magasabb feszültségre van szükség. A szélsőségesen kis értékű áramerősség kapcsolatban van az elektrosztatikus eszközökkel és így hatékony vezérlést eredményez.

A korábbi kutatások több olyan miniatűr eszközt, szilikon mikromotort, mikroszelepet eredményeztek, melyek vezérlési szempont-

ból az elektrostatikus erőt alkalmazzák. Az elektrostatikai hajtásnak fontos szerepe van a nanoméretű vezérlés megvalósításában.

Elektromágnesség esetében vonzó és taszító erők keletkeznek a szomszédos vezetőkben. Olyan szerkezetek készíthetők melyek összegyűjtik és fókuszálják az elektromágneses erőket, és hasznosítják ezeket, hogy mozgást idézzenek elő.

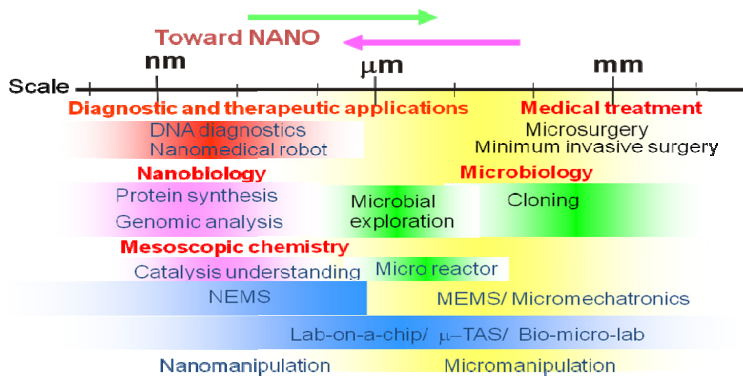
Elektromágneses mezők gyorsan keletkeznek és tűnnek el így gyors üzemi sebességű eszközök jöhetnek létre. Az elektromágneses terek különböző hőmérsékleten is jelentkeznek, a vezérlők teljesítménye elsősorban a felhasznált anyagok tulajdonságától függ. Az elektromágneses mikrovezérlők egyik esete a mikroszelep. A elektromágneses vezérlők méretének csökkentése a mikro- és nanoalkalmazásoknál korlátozott a kis elektromágneses tekercesek nehéz előállíthatósága miatt.

A piezoelektromos mozgást térbeli változások generálják bizonyos kristályos anyagokban, ha elektromos mezőnek vagy elektromos töltés hatásának vetik alá. Olyan struktúrákat kell építeni, amelyek összegyűjtik és összpontosítják a méretbeli változások erejét és kihasználják, hogy mozgást hozzanak létre. Jellemző piezoelektromos anyagok közé tartozik a kvarc. Piezoelektromos anyagok nagyon gyorsan és nagy ismételhetőséggel reagálnak a feszültség változására. Arra használhatóak, hogy pontos mozgásokat végezzenek ismételhető oszcillációkkal, mint a kvarc kristály időzítők, melyeket számos elektronikus eszközben alkalmaznak. Piezoelektromos anyagok lehetnek érzékelők, feszítő- vagy sűrítőerő fajtákat feszültséggé alakítók.

4. Alkalmazások az orvostudományban

A nanorobotok a test belsejébe juttatva fejthetnek ki gyógyító hatást. Alkalmazásuk a medicina új távlatait nyitja meg. A nanorobotokat így a keringési rendszerbe juttatják.

A japán Olympus Medical System kapszula endoszkópja képes lesz, hogy az emésztőrendszert feltérképezze, a képeket nyomban rögzítse és a megfelelő pontokon gyógyszert is adagoljon a szervezetbe.



3. ábra
Biológiai manipulációk

5. Mikro- és nanorobotok kurzus a Szegedi Tudományegyetemen

A Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai karának Informatika Doktori Iskolájában A számítástudomány alkalmazásai alprogram keretében, a cikk szerzője 2009 (tavaszi félév) óta Mikro- és nanorobotok elnevezéssel Ph.D. kurzust tart, amely egyedi kurzus a Magyarországon akkreditált 220 doktori iskolát figyelembe véve. A Mikro- és nanorobotok doktori kurzus rövid leírása a következő: Bevezetés, Áttekintés, Alkalmazkodás a méretváltozásokhoz, Mikro- és nano-terek viselkedése, Szenzor alapú adatgyűjtés mikro- és nanoterekben, Felépítés, Mikroszerelés, Mikrorobotika, Nanorobotika.

6. Összegzés

A robotika fejlődése a kisméretű, szenzorok, aktuátorok és intelligens rendszerek irányába halad, amelyek a mikro- és nanorobotok gyártásában, mint eszközök és építőelemek szolgálnak. A különböző eszközök méretének csökkentése lenyűgöző dolgokat tesz lehetővé, mint pl. nanobjektumok kezelését nanoeszközökkel, tömeg mérését a femto-gramm tartományban, pikonewton méretű erők érzékelését és intelligens mikro- és nanorobotok mozgásirányításának megvalósítását. Ezek a képességek alkotják majd a jövő mikro- és nanorobotjait és ezeket a feladatokat végzik majd a mikro-elektromechanikus - MEMS és nano-elektromechanikus - NEMS rendszerek.

Felhasznált irodalom:

- [1] T. Fukuda, Micro-Nano Robotic Manipulation System, Workshop on Intelligent Systems, Budapest, Hungary, 2009.
- [2] R.P. Feynman, There's plenty of room at the bottom, Caltech Eng. Sci. 23, 22–36, 1960.
- [3] B. Siciliano, O. Khatib (Eds.), Springer Handbook of Robotics, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2008.
- [4] Gy. Mester, "Introduction of Micro- and Nanorobotics Engineering", Proceedings of the SIP 2009, 26th International Conference Science in Practice, pp.1-5, Pécs, 2009.
- [5] D. Saletic, Gy. Mester, "Nanorobots - State of the Art", Proceedings of the YuINFO 2009, pp. 1-5, Kopaonik, Serbia, 2009.
- [6] D. Saletic, Gy. Mester, Nanoroboti – čime raspolažemo, a šta nam još treba da bismo ih realizovali? Zbornik radova 12. Međunarodne konferencije ICDQM - 2009, str. 859-866, Beograd, Srbija, 2009. str. 859-866.
- [7] D. Saletic, B. Selic, Gy. Mester, „Are we Ready for Nanotechnology“, e-RAF Journal on Computing, Vol. 1, pp. 38-48, Beograd, 2009.
- [8] K.B. Yesin, K. Vollmers, B.J. Nelson: Analysis and design of wireless magnetically guided microrobots in body fluids, Proc. 2004 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (IEEE, Piscataway 2004) pp. 1333–1338.
- [9] E.L. Wolf: *Nanophysics and Nanotechnology* (WILEY-VCH, Weinheim 2004).
- [10] J. Goldstein, D. Newbury, D. Joy, C. Lyman, P. Echlin, E. Lifshin, L. Sawyer, J. Michael: *Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis* (Kluwer Academic/Plenum, New York 2003).
- [11] M.J. Doktycz, C.J. Sullivan, P.R. Hoyt, D.A. Pelletier, S. Wu, D.P. Allison: AFM imaging of bacteria in liquid media immobilized on gelatin coated mica surfaces, *Ultramicroscopy* 97, 209–216 (2003).
- [12] M. Gad-el-Hak(Ed.): *The MEMS Handbook* (CRC, Boca Raton 2002).
- [13] T.-R. Hsu: *MEMS and Microsystems Design and Manufacture* (McGraw-Hill, New York 2002).
- [14] G. Yang, J.A. Gaines, B.J. Nelson: A supervisory wafer-level 3D microassembly system for hybrid MEMS fabrication, *J. Intell. Robot. Syst.* 37, 43–68 (2003).
- [15] G. Yang, B.J. Nelson: Micromanipulation contact transition control by selective focusing and microforce control, Proc. 2003 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (IEEE, Piscataway 2003) pp. 3200–3206.

- [16] D. Popa, B.H. Kang, J. Sin, J. Zou: Reconfigurable micro-assembly system for photonics applications, Proc. 2002 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (IEEE, Piscataway 2002) pp. 1495–1500.
- [17] Y. Sun, K. Wan, K.P. Roberts, J.C. Bischof, B.J. Nelson: Mechanical property characterization of mouse zona pellucida, IEEE Trans. Nanobiosci. 2, 279–286 (2003).
- [18] L.X. Dong, F. Arai, T. Fukuda: 3D nanorobotic manipulation of nano-order objects inside SEM, Proc. of 2000 Int. Symp. on Micromechanics and Human Science (MHS2000) (IEEE, Piscataway 2000) pp. 151–156.
- [19] A.A.G. Requicha: Nanorobots, NEMS, and nanoassembly, Proc. IEEE 91, 1922–1933 (2003).
- [20] G.Y. Li, N. Xi, M.M. Yu, W.K. Fung: Development of augmented reality system for AFM-based nanomanipulation, IEEE/ASME Trans. Mechatron. 9, 358–365 (2004) Micro/Nanorobots References 449.
- [21] X.Y. Kong, Z.L. Wang: Spontaneous polarization-induced nano-helices, nanosprings, and nanorings of piezoelectric nanobelts, Nano. Lett. 3, 1625–1631 (2003).
- [22] L. Zhang, E. Deckhardt, A. Weber, C. Schönenberger, D. Grützmacher: Controllable fabrication of SiGe/Si and SiGe/Si/Cr helical nanobelts, Nanotechnology 16, 655–663 (2005).
- [23] L. Zhang, E. Ruh, D. Grützmacher, L.X. Dong, D.J. Bell, B.J. Nelson, C. Schönenberger: Anomalous coiling of SiGe/Si and SiGe/Si/Cr helical nanobelts, Nano Lett. 6, 1311–1317 (2006).
- [24] D.J. Bell, L.X. Dong, B.J. Nelson, M. Golling, L. Zhang, D. Grützmacher: Fabrication and characterization of three-dimensional InGaAs/GaAs nanosprings, Nano Lett. 6, 725–729 (2006).
- [25] D.J. Bell, Y. Sun, L. Zhang, L.X. Dong, B.J. Nelson, D. Grützmacher: Three-dimensional nanosprings for electromechanical sensors, Sens. Actuat. A Physical 130, 54–61 (2006).
- [26] A. Subramanian, B. Vikramaditya, L.X. Dong, D.J. Bell, B.J. Nelson: Micro and Nanorobotic Assembly Using Dielectrophoresis. In: *Robotics: Science and Systems I*, ed. by S. Thrun, G.S. Sukhatme, S. Schaal, O. Brock (MIT Press, Cambridge 2005) pp. 327–334.
- [27] C.K.M. Fung, V.T.S. Wong, R.H.M. Chan, W.J. Li: Dielectrophoretic batch fabrication of bundled carbon nanotube thermal sensors, IEEE Trans. Nanotech. 3, 395–403 (2004).
- [28] T. Fukuda, F. Arai, L.X. Dong: Assembly of nanodevices with carbon nanotubes through nanorobotic manipulations, Proc. IEEE 91, 1803–1818 (2003).

- [29] L.X. Dong: Nanorobotic manipulations of carbon nanotubes. Ph.D. Thesis (Nagoya University, Nagoya 2003).
- [30] L.X. Dong, F. Arai, T. Fukuda: Electron-beaminduced deposition with carbon nanotube emitters, *Appl. Phys. Lett.* 81, 1919–1921 (2002).
- [31] L.X. Dong, F. Arai, T. Fukuda: 3D nanorobotic manipulations of multi-walled carbon nanotubes, *Proc. of 2001 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA2001)* (IEEE, Piscataway 2001) pp. 632–637.
- [32] L.X. Dong, F. Arai, T. Fukuda: Destructive constructions of nanostructures with carbon nanotubes through nanorobotic manipulation, *IEEE/ASME Trans. Mechatron.* 9, 350–357 (2004).
- [33] A. Kis, K. Jensen, S. Aloni, W. Mickelson, A. Zettl: Interlayer forces and ultralow sliding friction in multiwalled carbon nanotubes, *Phys. Rev. Lett.* 97, 025501 (2006).
- [34] L.X. Dong, F. Arai, T. Fukuda: Nanoassembly of carbon nanotubes through mechanochemical nanorobotic manipulations, *Jpn. J. Appl. Phys.* 42, 295–298 (2003), Part 1.
- [35] L.X. Dong, B.J. Nelson, T. Fukuda, F. Arai: Towards Nanotube Linear Servomotors, *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.* 3, 228–235 (2006).
- [36] Y.H. Gao, Y. Bando: Carbon nanothermometer containing gallium, *Nature* 415, 599 (2002).
- [37] L.X. Dong, X.Y. Tao, L. Zhang, B.J. Nelson, X.B. Zhang: Nanorobotic spot welding: Controlled metal deposition with attogram precision from Copper-filled carbon nanotubes, *Nano Lett.* 7, 58 – 63 (2007).
- [38] S.W. Lee, D.S. Lee, R.E. Morjan, S.H. Jhang, M. Sveningsson, O.A. Nerushev, Y.W. Park, E.E.B. Campbell: A three-terminal carbon nanorelay, *Nano Lett.* 4, 2027–2030 (2004).
- [39] A.M. Fennimore, T.D. Yuzvinsky, W.-Q. Han, M.S. Fuhrer, J. Cumings, A. Zettl: Rotational actuators based on carbon nanotubes, *Nature* 424, 408–410 (2003).
- [40] A. Subramanian, L.X. Dong, J. Tharian, U. Sennhauser, B.J. Nelson: Batch fabrication of carbon nanotube bearings, *Nanotechnology* 18, 075703 (2007).
- [41] L.X. Dong, A. Subramanian, D. Hugentobler, B.J. Nelson, Y. Sun: Nano Encoders based on Vertical Arrays of Individual Carbon Nanotubes, *Adv. Robot.* 20, 1281–1301 (2006).
- [42] Adriano Cavalcanti, Bijan Shirinzadeh, Luiz C. Kretly, Medical Nanorobotics for Diabetes Control, *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, Elsevier, Vol. 4, no. 2, pp.127-138, 2008.

[43] Adriano Cavalcanti, Bijan Shirinzadeh, Mingjun Zhang, Luiz C. Kretly, Nanorobot Hardware Architecture for Medical Defense, Sensors, MDPI, Vol. 8, no. 5, pp. 2932-2958, 2008.

[44] Adriano Cavalcanti, Bijan Shirinzadeh, Robert A. Freitas Jr., Tad Hogg, Nanorobot Architecture for Medical Target Identification, Nanotechnology, IOP, Vol. 19, no. 1, 015103 (15pp), 2008.

[45] Adriano Cavalcanti, Bijan Shirinzadeh, Toshio Fukuda, Seiichi Ikeda, Hardware Architecture for Nanorobot Application in Cerebral Aneurysm, IEEE - Nano 2007 Int'l Conf. on Nanotechnology (4MB ppt - presentation), Hong Kong, China, pp. 237-242, 2007.

[46] A. Cavalcanti, B. Shirinzadeh, D. Murphy, J. A. Smith, Nanorobots for Laparoscopic Cancer Surgery, IEEE ICIS Int'l Conf. on Computer and Information Science, IEEE Computer Society, Melbourne, Australia, pp. 738-743, 2007.

[47] A. Cavalcanti, B. Shirinzadeh, R. A. Freitas Jr., Luiz C. Kretly, Medical Nanorobot Architecture Based on Nanobioelectronics, Recent Patents on Nanotechnology, Bentham Science, Vol. 1, no. 1, pp. 1-10, 2007.

[48] Adriano Cavalcanti, Lior Rosen, Bijan Shirinzadeh, Moshe Rosenfeld, Nanorobot for Treatment of Patients with Artery Occlusion, Springer Proceedings of Virtual Concept, Cancun, Mexico, 2006.

[49] A. Cavalcanti, W. W. Wood, L. C. Kretly, Bijan Shirinzadeh, Computational Nanomechatronics: A Pathway for Control and Manufacturing Nanorobots, IEEE CIMCA Int'l Conf. on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation, IEEE Computer Society, Sydney, Australia, pp. 185-190, 2006.

[50] A. Cavalcanti, R. A. Freitas Jr., Nanorobotics Control Design: A Collective Behavior Approach for Medicine, IEEE Transactions on Nanobioscience, Vol. 4, no. 2, pp. 133-140, 2005.

[51] A. Cavalcanti, Nanorobotics, In 3-D Simulations, Topic In Depth, NSF - The NSDL Scout Report for Math, Engineering and Technology, Vol. 4, no. 8, Computer Sciences Department, The University of Wisconsin-Madison, Madison WI, USA, 2005.

[52] L. Rosen, A. Cavalcanti, M. Rosenfeld, S. Einav, Pro-Inflammatory Cytokines and Soluble Adhesion Molecules as Activating Triggers for Nanorobots, BMES Conference on Biomedical Engineering: New Challenges for the Future (1MB ppt), Philadelphia PA, USA, 2004.

[53] A. Casal, T. Hogg, A. Cavalcanti, Nanorobots as Cellular Assistants in Inflammatory Responses, Nanorobotics: Nanotechnology, Chemistry Biology, Info Center ETHZ, Swiss Federal Inst. of Technology, Zurich, Switzerland, 2004.

[54] A. Cavalcanti, Assembly Automation with Evolutionary Nanorobots and Sensor-Based Control applied to Nanomedicine, IEEE Transactions on Nanotechnology, Vol. 2, no. 2, pp. 82-87, 2003.

[55] A. Cavalcanti, R. A. Freitas Jr., “Nanosystem Design with Dynamic Collision Detection for Autonomous Nano-robot Motion Control using Neural Networks”, Comp. Graphics and Geometry, MEPhi, Vol. 5, no. 1, pp. 50-74, 2003.

[56] A. Cavalcanti, R. A. Freitas Jr., Autonomous Multi-Robot Sensor-Based Cooperation for Nanomedicine, International Journal of Nonlinear Science and Numerical Simulation, Freund Publishing, Vol. 3, no. 4, pp. 743-746, 2002.