

Miniaturizované detekční systémy a jejich aplikace

Lukáš Zima^a, Lukáš Nejdls^b, Branislav Ruttkay-Nedecký^{b,c}, Vojtěch Adam^{b,c}, René Kizek^{b,c}

^a Střední průmyslová škola chemická, Brno, Vranovská 65, Česká republika

^b Ústav chemie a biochemie, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika

^c Středoevropský technologický institut, Vysoké učení technické v Brně, Technická 10, 616 00 Brno, Česká republika

Applications of micro-flow systems

Currently, robots are mostly used in industry (production lines and machining centers), where allow high productivity and accuracy of work that human is not able to achieve. One of the many areas of operation of remote robotic systems are places for human risky or inaccessible. For this reason, there is a robotic device capable of analyzing samples in the location of their occurrence, and sending the obtained data. Thanks to the development of these technologies environmental problems without risk to humans may be solved. The knowledge acquired from the application of these technologies can be further used in space research. In this review, we deal with microflow systems that are used for a wide range of applications, which are summarized in this work.

Přijato k publikování: 10. 3. 2014

Klíčová slova: automatizace; dálkově řízená analýza; lab-on-a-chip; mikroprůtokové systémy; robot

Úvod

V roce 1920 poprvé použil slovo robot ve spojení s neživou bytostí český spisovatel Karel Čapek ve svém vědeckofantastickém dramatu R.U.R (Rossumovi univerzální roboti)¹. Od této chvíle se toto označení začalo používat pro stroj pracující s určitou mírou samostatnosti. První patent týkající se robotiky podal v roce 1954 George Devol. Jeho společnost Unimation poprvé vyrobila průmyslového robota, který byl zaveden do průmyslové výroby v roce 1961². První mobilní roboti se začaly objevovat v 70. letech 20. století³. Díky objevu polarografie, za kterou dostal Jaroslav Heyrovský v roce 1959 Nobelovu cenu, se od 30. let 20. století začaly rozvíjet polarografické metody⁴. Vynález polarografie vytvořil základ pro vývoj nových elektrochemických metod, které jsou využívány spolu s Lab-on-a-chip systémy. S rozvojem počítačových technologií byly polarografické metody automatizovány⁵. Dalším krokem pro vývoj dálkových robotických systémů (Lab-on-a-robot) byla miniaturizace zavedených metod a mikrofluidika s biosenzory. Elektrochemické biosenzory mají široké spektrum uplatnění. Uplatňují se například v potravinářském a farmaceutickém průmyslu, ve veterinární medicíně nebo v životním prostředí. Pomocí biosenzorů lze stanovit anorganické⁶ i organické látky⁷ nebo alkoholy⁸. Kromě elektrochemických biosenzorů existují biosenzory optické, jejichž principem je interakce světelného záření s chemickými látkami⁹. Dalším

typem jsou kalorimetrické senzory, využívající změnu teploty v průběhu enzymatických reakcí¹⁰.

Současná třetí generace robotů je schopna pracovat v extrémních podmínkách (v mořských hlubinách, sopkách a vesmíru). Důraz je kladen především na efektivní komunikaci a dálkové ovládní, díky kterému provádí operátor kontrolu nad robotem v reálném čase. V současné době je značný zájem o výzkum planet, zejména Marsu, a proto jsou neustále vyvíjeny nové efektivnější miniaturizované analytické nástroje.

Mikroprůtokové systémy

Vývoj v oblasti materiálů, detekčních systémů a separačních metod umožnil výrobu miniaturizovaných mikroprůtokových analytických systémů¹¹⁻¹³. První miniaturizovaný plynový chromatograf s tepelně vodivostním detektorem (TCD) byl sestaven v roce 1979 na Stanfordské univerzitě¹⁴. Během posledních dvou desetiletí došlo k rozvoji systémů označovaných jako „lab on a chip“ (LOC) nebo „micro total analysis systems“ (MTAS)¹⁵. Tyto analytické nástroje jsou schopny provádět všechny kroky nutné k analýze vzorku. Především se jedná o předpřípravu analytu, rozvod reagentů, míchání, separaci a detekci analytu¹⁶. Nejrozšířenější metodou pro separaci vzorků v čipu je kapilární elektroforéza (CE)^{17,18}. CE čip může být připojen k celé řadě detekčních systémů¹⁹. Mezi nejpoužívanější patří elektrochemické detektory (ECD) založené na měření vodivosti²⁰, nebo rovno-

vážného napětí (potenciometrie)²¹. Další možnosti jsou detektory založené na Ramanově rozptylu^{22,23}, UV/vis spektrofotometrii^{24,25}, nebo nukleární magnetické rezonanci²⁶. ECD detektory bývají upřednostňovány před ostatními^{13,27}, protože dokáží analyzovat zakalený vzorek²⁸, mají nízké energetické nároky²⁸, mohou být variabilně modifikovány pro docílení větší selektivity a senzitivity²⁹. Mezi hlavní výhody mikroprůtokových čipů patří systémové integrace, mobilita, rychlost analýz, nízká spotřeba vzorku, reagensů, možnost zapojení do paralelního systému (multiplexování) a kontrola reakčních podmínek¹⁶. Detekční možnosti mikroprůtokových zařízení jsou srovnatelné s těmi, které najdeme u běžně používaných laboratorních přístrojů¹⁴. V dnešní době mají LOC využití ve farmaceutických, biochemických a vojenských analýzách¹⁴. Díky jejich nízké hmotnosti a malé velikosti je možné provádět point-of-care testování, to znamená provádět klinické aplikace (diagnostické testy) přímo u pacienta nebo všude tam, kde je nedostatek technické infrastruktury. Další možností může být implementovat LOC na mobilní dálkově řízenou platformu (lab on a robot)³⁰⁻³².

Robotické mobilní platformy

Spirit a Opportunity

Spirit spolu s Opportunity byla vesmírná vozítka účastníci se mise Mars Exploration Rover. Spirit přistál na povrchu Marsu 4. ledna 2004, Opportunity 25. ledna 2004. Jako přistávací plocha pro Spirit byl vybrán kráter Gusev. Obě sondy se skládají z pohyblivého vozítka, plošiny pro měkké přistání, tepelného štítu, přeletového meziplanetárního stupně a z pohonných látek. Hlavním úkolem robotických vozítek bylo hledat kameny a půdu, v nichž by se našly důkazy o přítomnosti vody v minulosti na Marsu. Během mise bylo pořízeno více jak tisíc fotografií povrchu Marsu. K pořizování fotografií byla vozítka vybavena panoramatickou kamerou, která umožňovala stereoskopické snímkování terénu. Pro svá měření používaly miniaturní spektrometry tepelných emisí, který zkoumá nerosty pomocí jejich tepelného vyzařování, Mössbauerův spektrometr pro hledání sloučenin železa, spektrometr rentgenového a alfa záření, mikroskopický zobrazovač pro detailní snímky hornin a brusku pro očištění a obroušení zkoumaných kamenů. 5. března 2004 našel Spirit první náznaky vody v kameni „Humphrey“. Kámen byl zformován z magmatu. Životnost obou vozítek

byla odhadována na 90 marsovských dní^{33,34}. Robotické vozítka Spirit vydrželo v provozu přes šest let. Poslední zprávu vyslalo 22. 3. 2010. Robotické vozítka Opportunity je stále v provozu.

Phoenix

Phoenix je prvním mobilním robotickým vozítkem, patřící do třídy Scout, vyslaným organizací NASA na Mars. Mise začala 25. května 2008 a trvala celkem 5 měsíců³⁵. Hlavním úkolem Phoenixe bylo prozkoumat terén planety a hledat známky vody v půdních sedimentech. Phoenix byl vybaven robotickým ramenem z hliníku a titanu. Rameno obsahovalo lopatku s čepelí pro kopání do půdy a motorovou škrabku pro rozbíjení zmrzlé půdy³⁶. Během zkoumání terénu prováděl Phoenix vizuální analýzu a sběr vzorků půdy, kde sledoval především vodu a sloučeniny obsahující uhlík. Analýzy byly prováděny pomocí mikroskopického, elektrochemického a vodivostního analyzátoru (MECA). MECA se skládá ze čtyř analytických částí „wet chemistry lab“ (WCL)³⁷, optického spektrometru a z tepelné a elektrické sondy³⁸. WCL je určena ke stanovení kationtů (Cd^{2+}), aniontů (NO_3^-) a rozpuštěných plynů (O_2 a CO_2)³⁹. Chemická analýza probíhá v uzavřené zásuvce uvnitř robotického vozítka. Uvnitř vozítka je vodní nádrž napojená na celou. Voda v nádrži se zahřeje na vysokou teplotu a je odváděna do měřicí cely vybavené elektrochemickými analyzátoři. Celá analýza probíhá při teplotě $20 \pm 0,5$ °C³⁹. Důkazy o výskytu MgCO_3 a FeCO_3 byly nalezeny v atmosférickém prachu⁴⁰ a na povrchu skal⁴¹.

Curiosity

Robotické vozítka Curiosity přistálo na povrchu Marsu v srpnu 2012⁴². Životnost Curiosity je odhadována na 23 měsíců. Curiosity bylo speciálně sestaveno pro posouzení obyvatelnosti Marsu. Mobilní laboratoř obsahuje hmotnostní spektrometr, který umožňuje vyhledávat organický uhlík v půdě⁴². Curiosity dále obsahuje analytickou laboratoř CheMin (Chemistry and Mineralogy). CheMin se skládá z rentgenového difraktoru (XRD) a rentgenového fluorescenčního přístroje (XRF). CheMin obdrží půdní vzorky z MSL Sample Acquisition/Sample Processing and Handling (SA/SPaH) systému a zpracuje je pomocí rentgenových spektroskopických metod pro stanovení minerálního složení půdy⁴³.

Závěr

V práci je popsán vývoj miniaturizovaných mikroprůtokových čipů (lab-on-a-chip, „micro total analysis systems“) a jejich univerzální využití v širokém spektru aplikací jako jsou point-of-care aplikace a robotické dálkové systémy. Vzhledem k tomu, že se moderní technologie stávají dostupnější, jsou vyvíjeny nové robotické systémy^{31,44-49}.

Autoři děkují za finanční podporu projektu CEITEC CZ.1.05/1.1.00/02.0068.

Literatura

- Kinyon K.: *Science-Fiction Studies*, 26, 379 (1999).
- Ballard L. A., Sabanovic S., Kaur J., Milojevic S.: *Ieee Robotics & Automation Magazine*, 19, 114 (2012).
- Raphael B.: *Computers and People*, 25, 7 (1976).
- Heyrovsky J.: *Nature*, 176, 865 (1955).
- Pizeta I., Branica M.: *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 250, 293 (1988).
- Evyugin G. A., Stoikov, II, Budnikov G. K., Stoikova E. E.: *Journal of Analytical Chemistry*, 58, 1151 (2003).
- Garcia C. A. B., Neto G. D., Kubota L. T.: *Analytica Chimica Acta*, 374, 201 (1998).
- Reshetilov A. N., Lobanov A. V., Morozova N. O., Gordon S. H., Greene R. V., Leathers T. D.: *Biosensors & Bioelectronics*, 13, 787 (1998).
- Kuznetsov V. V., Sheremet'ev S. V.: *Journal of Analytical Chemistry*, 62, 270 (2007).
- Danielsson B.: *Journal of Biotechnology*, 15, 187 (1990).
- Mora M. F., Garcia C. D.: *Electrophoresis*, 28, 1197 (2007).
- Mora M. F., Giacomelli C. E., Garcia C. D.: *Analytical Chemistry*, 79, 6675 (2007).
- Wang J.: *Electroanalysis*, 17, 1133 (2005).
- Nugen S. R., Asiello P. J., Connelly J. T., Baeumner A. J.: *Biosensors & Bioelectronics*, 24, 2428 (2009).
- Arora A., Simone G., Salieb-Beugelaar G. B., Kim J. T., Manz A.: *Analytical Chemistry*, 82, 4830 (2010).
- Mirasoli M., Guardigli M., Michelini E., Roda A.: *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 87, 36 (2014).
- Dittrich P. S., Tachikawa K., Manz A.: *Analytical Chemistry*, 78, 3887 (2006).
- Auroux P. A., Iossifidis D., Reyes D. R., Manz A.: *Analytical Chemistry*, 74, 2637 (2002).
- Uchiyama K., Nakajima H., Hobo T.: *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 379, 375 (2004).
- Chai C. Y., Liu G. Y., Li F., Liu X. F., Yao B., Wang L.: *Analytica Chimica Acta*, 675, 185 (2010).
- Yunus S., Attout A., Vanlancker G., Bertrand P., Ruth N., Galleni M.: *Sensors and Actuators B-Chemical*, 156, 35 (2011).
- Quang L. X., Lim C., Seong G. H., Choo J., Do K. J., Yoo S. K.: *Lab on a Chip*, 8, 2214 (2008).
- Guzman E., Baeten V., Pierna J. A. F., Garcia-Mesa J. A.: *Talanta*, 93, 94 (2012).
- Salmeron J. F., Gomez-Robledo L., Carvajal M. A., Huertas R., Moyano M. J., Gordillo B., Palma A. J., Heredia F. J., Melgosa M.: *Journal of Food Engineering*, 111, 247 (2012).
- de Vargas-Sansalvador I. M. P., Fay C., Phelan T., Fernandez-Ramos M. D., Capitan-Vallvey L. F., Diamond D., Benito-Lopez F.: *Analytica Chimica Acta*, 699, 216 (2011).
- Perlo J., Demas V., Casanova F., Meriles C. A., Reimer J., Pines A., Blumich B.: *Science*, 308, 1279 (2005).
- Vandaveer W. R., Pasas-Farmer S. A., Fischer D. J., Frankenfeld C. N., Lunte S. M.: *Electrophoresis*, 25, 3528 (2004).
- An H. J., Liu Q. D., Ji Q. L., Jin B.: *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 393, 571 (2010).
- Garcia C. D., Henry C. S.: *Electroanalysis*, 17, 223 (2005).
- Garcia C. D., Henry C. S.: *Electroanalysis*, 17, 1125 (2005).
- Lamberti F., Sanna A., Paravati G., Montuschi P., Gatteschi V., Demartini C.: *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 10, (2013).
- Berg C., Valdez D. C., Bergeron P., Mora M. F., Garcia C. D., Ayon A.: *Electrophoresis*, 29, 4914 (2008).
- Allison M.: *Geophysical Research Letters*, 24, 1967 (1997).
- Kochan A.: *Industrial Robot-an International Journal*, 31, 392 (2004).
- Smith P. H., Tamppari L. K., Arvidson R. E., Bass D., Blaney D., Boynton W. V., Carswell A., Catling D. C., Clark B. C., Duck T., DeJong E., Fisher D., Goetz W., Gunnlaugsson H. P., Hecht M. H., Hipkin V., Hoffman J., Hviid S. F., Keller H. U., Kounaves S. P., Lange C. F., Lemmon M. T., Madsen M. B., Markiewicz W. J., Marshall J., McKay C. P., Mellon M. T., Ming D. W., Morris R. V., Pike W. T., Renno N., Stauffer U., Stoker C., Taylor P., Whiteway J. A., Zent A. P.: *Science*, 325, 58 (2009).
- McKay C. P., Stoker C. R., Glass B. J., Dave A. I., Davila A. F., Heldmann J. L., Marinova M. M., Fairen A. G., Quinn R. C., Zacny K. A., Paulsen G., Smith P. H., Parro V., Andersen D. T., Hecht M. H., Lancelotti D., Pollard W. H.: *Astrobiology*, 13, 334 (2013).
- Plemmons D. H., Mehta M., Clark B. C., Kounaves S. P., Peach L. L., Renno N. O., Tamppari L., Young S. M. M.: *Journal of Geophysical Research-Planets*, 113, (2008).
- Hecht M. H., Marshall J., Pike W. T., Stauffer U., Blaney D., Braendlin D., Gautsch S., Goetz W., Hidber H. R., Keller H. U., Markiewicz W. J., Mazer A., Meloy T. P., Morookian J. M., Mogensen C., Parrat D., Smith P., Sykulska H., Tanner R. J., Reynolds R. O., Tonin A., Vijendran S., Weiler M., Woیدا P. M.: *Journal of Geophysical Research-Planets*, 113, (2008).
- Kounaves S. P., Lukow S. R., Comeau B. P., Hecht M. H., Grannan-Feldman S. M., Manatt K., West S. J., Wen X., Frant M., Gillette T.: *Journal of geophysical research*, 108, 13 (2003).
- Bandfield J. L., Glotch T. D., Christensen P. R.: *Science*, 301, 1084 (2003).
- Ehlmann B. L., Mustard J. F., Murchie S. L., Poulet F., Bishop J. L., Brown A. J., Calvin W. M., Clark R. N., Des Marais D. J., Milliken R. E., Roach L. H., Roush T. L., Swayze G. A., Wray J. J.: *Science*, 322, 1828 (2008).
- Grotzinger J. P., Crisp J., Vasavada A. R., Anderson R. C., Baker C. J., Barry R., Blake D. F., Conrad P., Edgett K. S., Ferdowski B., Gellert R., Gilbert J. B., Golombek M., Gomez-Elvira J., Hassler D. M., Jandura L., Litvak M., Mahaffy P., Maki J., Meyer M., Malin M. C., Mitrofanov I., Simmonds J. J., Vaniman D., Welch R. V., Wiens R. C.: *Space Science Reviews*, 170, 5 (2012).

43. Zimmerman W., Blake D., Harris W., Morookian J. M., Randall D., Reder L. J., Sarrazin P., Ieee: 2013 Ieee Aerospace Conference, (2013).
44. Tao W. J., Ou Y., Feng H. T.: International Journal of Advanced Robotic Systems, 9, (2012).
45. Dobie G., Pierce S. G., Hayward G.: Ndt & E International, 58, 10 (2013).
46. Kulich M., Chudoba J., Kosnar K., Krajnik T., Faigl J., Preucil L.: Ieee Transactions on Education, 56, 18 (2013).
47. Li D. R., Liu Y., Yuan X. X.: Science China-Information Sciences, 56, (2013).
48. Susperregi L., Martinez-Otzeta J. M., Ansuategui A., Ibarguren A., Sierra B.: International Journal of Advanced Robotic Systems, 10, (2013).
49. da Costa E. T., Neves C. A., Hotta G. M., Vidal D. T. R., Barros M. F., Ayon A. A., Garcia C. D., do Lago C. L.: Electrophoresis, 33, 2650 (2012).



Článek je volně šiřitelný
pod licencí Creative
Commons (BY-NC-ND).

Musí však být uveden autor a dokument nelze měnit
a používat pro komerční účely.