

Roboty s hlavou v oblakoch*

Ivana Budinská

Ústav informatiky SAV
Dúbravská cesta 9, 845 07 Bratislava
budinska@savba.sk

Abstrakt

Robotika v súčasnosti prechádza veľkým vývojom v súvislosti s rozvojom informatiky a informačných technológií. Medzi technológie, na ktoré sa v poslednom čase obracia pozornosť veľkej časti robotickej komunity, patrí kladové počítanie.

Tento článok je zameraný na objasnenie vzťahov robotiky a najnovších trendov v informačných technológiách a na predstavenie aktuálnych projektov a nových trendov v oblasti kladovej robotiky. V závere sa článok venuje niektorým výzvam ale aj problémom, ktoré so sebou rozvoj kladovej robotiky prináša.

1 Úvod

Vývoj robotiky smeruje v závislosti od aplikácií od priemyselných robotov, cez mobilné, viacúčelové roboty až po roboty poskytujúce služby v rôznych oblastiach civilného ale aj vojenského využitia. Ovplyvňujú ho mnohé vedné odbory a rozvoj technológií. Predovšetkým ide o rozvoj senzorov a senzorických zariadení, ktoré vplyvajú na stupeň autonómnosti robotov. Ďalším významným faktorom, je rozvoj informačných technológií, a to tak hardvéru ako aj softvéru. Dochádza k zvyšovaniu výpočtovej výkonnosti so súčasným znižovaním výpočtových zariadení a znižovaním ich spotreby energie. To umožňuje prenášať čoraz väčší výpočtový výkon priamo na robotické platformy. Na druhej strane existujúce robotické platformy riešia stále náročnejšie úlohy. Zvyšovanie náročnosti úloh znamená zvyšovanie nárokov na výpočtový výkon. To súvisí aj s nárastom autonómnosti robotických zariadení. V počiatočných sa robotmi nazývali zariadenia, ktoré plnili presne definované úlohy viazané na určité vymedzené prostredie s minimálnymi nárokmi na vnímanie prostredia a na autonómnosť robotickej platformy. Postupne sa stupeň autonómie a inteligencie robotov zvyšoval, až dosiahol stav, že dnešné špičkové roboty dokážu autonómne konať aj v prirodzenom prostredí.

Príkladom takýchto robotov môžu byť autonómne mobilné roboty - autá, ktoré sa dokážu pohybovať bez šoféra v prirodzenom dopravnom prostredí - na cestách.

Najnovším trendom v rozvoji robotiky je zvyšovanie schopností a aplikačných možností robotických zariadení v súlade s rozvojom paradigiem ako sú Internet of Things (IoT) a Big Data. Veľký význam pre robotiku má aj nový trend v oblasti informačných technológií - kladové počítanie (z angl. cloud computing).

2 Vývoj kladovej robotiky

Pojem "cloud robotics" sa spája s menom Jamesa Kuffnera, profesora Robotického inštitútu Carnegie Mellon univerzity a manažera spoločnosti Google. James Kuffner v roku 2010 použil tento výraz na objasnenie fungovania sieťovo prepojených robotov, ktoré dokážu využívať distribuované výpočty a dáta uložené v klade. Základy však boli položené oveľa dávnejšie. Už v roku 1994 bol k webu pripojený priemyselný počítač. Intuitívne grafické rozhranie umožnilo riadiť robota na diaľku. Vzdialené riadenie robotov - "tele-operated robots" a zosieťované roboty, boli ďalším krokom smerom ku kladovej robotike. Chella a spol. v publikácii z roku 2011 predstavili robotický systém, ktorého sebauvedomenie je inšpirované kognitívnymi schopnosťami ľudí. Keďže však komplexné kognitívne schopnosti vyžadujú vysoký výpočtový výkon, bez využitia kladového počítania nie je možný ďalší rozvoj robotiky týmto smerom. V roku 2012 General Electrics uviedlo pojem priemyselného internetu - "Industrial Internet". Tento koncept predpokladá pripojenie inteligentných zariadení, medzi ktoré patria aj robotické zariadenia, do internetu. Kehoe a kol. (2015) vo svojom prehľadovom článku uverejnenom v IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, poskytuje pohľad na históriu, súčasnosť a perspektívy kladovej robotiky. Súvislosti medzi inteligentnou robotikou a kladovým počítaním predstavuje Rudas v publikácii z roku 2012. Zo slovenských autorov sa problematike kladového počítania a kladovej robotiky venujú výskumníci zo skupiny P. Sinčáka. Ich publikácie (Lorencik, Sincak, 2013), Lorencik a spol., 2014)

* Nadpis podľa Guizzo E. (2011) Robots with their heads in the clouds, In Spectrum, IEEE, vol. 48, no. 3, pp. 16-18

hovorí o vplyve klaudového počítania na robotiku. Cádrik a kol. (2015) predstavuje konkrétne aktivity - klaudovú architektúru pre multi-robotické systémy.

3 Inteligentná robotika a informačné technológie

Klaudová robotika je závislá na rozvoji ďalších oblastí informačných technológií. Najdôležitejšie z nich sú Internet of Things a Cloud computing.

3.1 Internet vecí

Internet vecí - z. ang. Internet of Things - IoT - je postavený na technológiách umožňujúcich (a) prepájanie objektov, (b) ich vzdialené monitorovanie, sledovanie a (c) riadenie. Objekty sú vybavené jedinečným identifikátorom. Medzi najpoužívanejšie technológie patrí technológia RFID. V súčasnosti sa IoT vzťahuje na nový spôsob prepájania inteligentných zariadení do siete s cieľom vytvoriť priestor pre spoločné dátové úložiská, zdieľanie znalostí a vzdialené riadenie inteligentných zariadení. Vízia paradigmy IoT dokonca hovorí o prepájaní objektov v najširšom zmysle - zariadenia, zvieratá, ľudia. Všetky tieto objekty budú vybavené jedinečným identifikátorom na základe ktorého budú prepojené v sieti bez nutnosti človekom podporovanej, resp. riadenej komunikácie. Takéto zosieťovanie objektov umožňuje prenos veľkého množstva dát. Ich ukladanie a spracovanie je podporované rozvojom klaudového počítania a rozvojom metód na spracovanie veľkých dát. Vo všeobecnosti hovoríme o metódach súvisiacich s paradigmou BigData.

Robotické platformy predstavujú inteligentné zariadenia, ktoré sú nositeľmi čoraz väčšieho počtu senzorických systémov. Preto sa stávajú ďalším zdrojom veľkého množstva dát. Mobilné roboty sa môžu prepájať do skupín a vytvárať mobilné senzorické siete. Takéto siete sa dostanú na miesta, kde sa nachádzajú dáta. Obmedzený zdroj energie a výpočtová kapacita však neumožňujú spracovanie veľkého množstva dát priamo na robotickej platforme. Preto takéto systémy môžu profitovať z prístupnosti vzdialených a distribuovaných dátových úložísk, kde budú dáta nie len uložené, ale môžu byť následne efektívne spracované. Relevantné výsledky spracovaných senzorických dát sa prostredníctvom siete dostanú naspäť na mobilné roboty, ktoré ich ďalej využijú pri plnení svojej misie.

3.2 Klaudové počítanie

Klaudové počítanie (z ang. Cloud Computing) má základ v technológiách distribuovaného a gridového počítania. Tento pojem sa zaužíval začiatkom tohto storočia (roky 2000) a v súčasnosti sa vzťahuje na metódy a techniky efektívneho zdieľania zdrojov

prostredníctvom siete. Podľa definície NIST (Mell a Grance, 2011) sa za zdroj považuje nie len výpočtová infraštruktúra, ale aj softvérové prostriedky, úložiská dát a samotné dáta, ako aj služby, ktoré sú prostredníctvom siete poskytované používateľom. Charakteristické pre klaudové počítanie je dynamické prideľovanie zdrojov podľa požiadaviek klienta. Rozvoj klaudového počítania bol masívne podporovaný predovšetkým komerčnými poskytovateľmi služieb. Títo sprístupnili výkonné výpočtové prostriedky pre širokú komunitu používateľov podľa ich aktuálnych potrieb. Takýto prístup je pre používateľov ekonomicky výhodný (pay-as-you-go model). Používatelia nevynakladajú prostriedky na obstaranie výpočtových prostriedkov, ktoré využívajú len sporadicky. Stále aktuálna otázka je bezpečnosť a dôveryhodnosť výpočtového prostredia, zabezpečenie dát a pod. Tieto otázky sú aktuálne predmetom výskumu v popredných výskumných centrách. V roku 2008 bola predstavená platforma OpenNebula, ktorá vznikla s podporou Európskej komisie ako voľne šíriteľný, open-source program. OpenNebula bola prvou platformou, ktorá umožnila správu distribuovanej heterogénnej infraštruktúry pre dátové centrá. OpenNebula využíva virtualizáciu infraštruktúry dátových centier na vytvorenie súkromnej, verejnej a hybridnej implementácie infraštruktúry ako služby poskytovanej zákazníkovi podľa požiadaviek. V klaudovom počítaní sa aj softvér implementuje ako služba. V robotickej komunite sa v súvislosti s týmito trendami začal používať pojem "robot ako služba".

4 Aktuálne projekty v oblasti klaudovej robotiky

Projekt RoboEarth (Weibel a spol., 2011) priniesol významný pokrok smerom k vízií vytvoriť "A World Wide Web" pre robotické platformy. Cieľom projektu bolo navrhnuť veľkú sieť a dátové úložisko, prostredníctvom ktorých budú môcť roboty zdieľať informácie a učiť sa jeden od druhého - t.j. získavať informácie o prostredí a predávať si vzorce správania sa. Projekt bol podporený Európskou komisiou. Výsledky projektu boli využité na vytvorenie open-source rámca pre klaudovú robotiku - Rapyuta (Mohanarajah a spol., 2014). V rámci tohto projektu boli vyvinuté architektúry pre roboty ako služby, boli vyvinuté výpočtové prostriedky na tvorbu 3D modelov prostredia, rozpoznávanie reči a rozpoznávanie tvárí. Kolaboratívne 3D mapovanie prostredia popisuje Mohanarajah a kol. (2014b).

Koji Kamei predstavil projekt UNR-PF - Ubiquitous Network Robot Platform, ktorý predstavuje rámec pre distribuovanú koordináciu a riadenie robotických systémov. Aplikáciu znalostne podporovanej klaudovej robotiky s využitím rámca UNR-PF popisuje Tenorth a kol. (2013). V práci využíva klaud ako médium pre

vytvorenie siete medzi robotmi, senzormi a mobilnými zariadeniami. Implementáciu platformy ROS (Robot Operating System) v klaude na externú komunikáciu medzi robotmi využíva open-source projekt ROSBRIDGE. ROS je všeobecne používaný komponentový model pre programovanie robotických aplikácií. Táto platforma (ROS) je využitá aj v projekte DaVinci ako rámec pre posielanie správ na Hadoop klaster, kde sa uskutočňuje 2D lokalizácia a mapovanie. Posielanie správ v ROS je asynchrónne s využitím mechanizmu publikuj/podpiš. Databáza využívaná v rámci tohto projektu nie je špecifická pre robotické zariadenia. Projekt nie je verejne dostupný.

Komponentový meta model - Rapyutha má za cieľ umožniť presúvanie výpočtovo náročných operácií z robota do klaudu. Na zabezpečenie štandardizovanej a bezpečnej komunikácie využíva platformu ROS a komunikačný protokol WebSocket.

Luca Gherardi a kol (2014) popisuje proces konfigurácie klaudovej platformy pre robotické aplikácie. Uvádza aj niekoľko príkladov - Robot soccer, Maze, Kuka robot.

Projekt Google Googles síce nie je primárne určený pre robotické aplikácie, dá sa však využiť na získavanie informácií o objektoch, ktorých obrázkov bol zosnímaný robotickým systémom videnia. Zosnímaný obrázok porovnáva s obrázkami v svojej databáze. V prípade, že ho dokáže nájsť a vyhodnotiť podobnosť, poskytne systém dostupné relevantné informácie. Google Googles bol vyvinutý pre používateľov smartfónov a okrem vyhľadávania obrázkov umožňuje čítať čiarové a QR kódy, skenovať OCR, prekladať texty, rozpoznávať obrazy, knihy, DVD, CD, nachádzať podobné produkty a riešiť SUDOKU.

Dva ďalšie príklady možného a perspektívneho využitia popisuje Ermacova a kol. Prvý príklad je využitie klaudovej architektúry pre riadenie záchranných operácií s využitím skupiny drónov. Druhý príklad je monitorovanie mesta, ktoré je vybavené inteligentnými snímačmi a prostriedkami (Smart City).

5 Úloha ontológií v inteligentnej robotike

Integrácia znalostí a efektívna komunikácia medzi robotmi predpokladá existenciu spoločného pochopenia sveta, jeho entít a vzťahov medzi nimi. Zjednodušene povedané, široké nasadenie robotov využívajúcich klaud si vyžaduje štandardizáciu, ktorá by mala vychádzať zo všeobecne akceptovanej ontológie. Už v roku 2002 navrhol Chella a kol. model ontológie pre robotické systémy. Organizácia IEEE vytvorila pracovnú skupinu s názvom Ontológie pre robotiku a automatizáciu (z angl. Ontology for Robotics and Automation Working Group - ORAWG), ktorá spolu s Medzinárodnou federáciou robotiky (z angl. International Federation of Robotics - IFR) zadefinovali základné ciele pre vývoj ontológie pre

robotiku. Sústreďujú sa na (a) popis a všeobecné pochopenie robotických systémov, (b) popis ich štruktúry a schopností, (c) popis komunikácie medzi robotmi s rôznymi schopnosťami a úlohami, (d) popis komunikácie medzi robotom a človekom, (d) reprezentáciu znalostí, ktoré sú získavané robotmi cez ich senzorické systémy. Okrem toho sú ontológie potrebné na rovnaké interpretovanie konceptov z rôznych aplikačných domén.

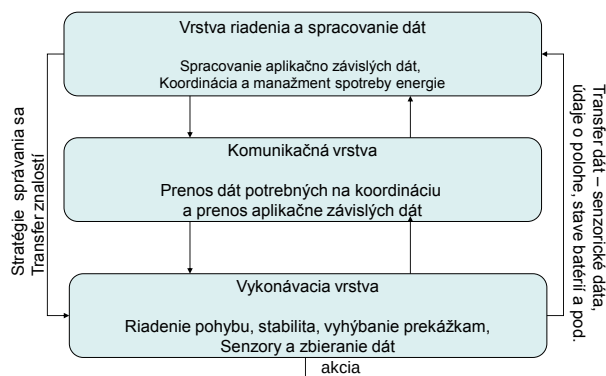
Existuje niekoľko skupín, ktoré sa venujú vývoju ontológií pre robotické systémy a ich aplikácie. Napríklad aktivity pod názvom ORO (z angl. an Open Robot Ontology) a KnowRob. Tieto ontológie extrahujú informácie zo známych vyšších ontológií ako sú SUMO a OpenCyc a vytvárajú špecifickú ontológiu pre robotiku. Obidve ontológie pracujú s robotickým systémom ROS. KnowRob je zameraný na posudzovanie obrázkov, ktoré boli získané pomocou robotického systému videnia (robot vision system) a využíva usudzovacie systémy ako PROLOG a WEKA. Pre multiagentové systémy pozostávajúce z mobilných a inteligentných robotických jednotiek bol vyvinutý systém SCENS. Jeho súčasťou je jazyk KnowLang, ktorý slúži na špecifikáciu prostredia v rôznych doménach. Úlohu ontológie v robotike a automatizácii popisuje Haidegger a kol. (2013). Prestes a kol. (2013) popisuje jadro ontológie pre robotiku. Unifikovaný popis znalostí pre vnútorné prostredia, ktorý je založený na ontológii, je popísaný v publikácii (Gi Hyun Lim a spol., 2011).

6 Inteligentný swarm pre úlohy prehľadávania a monitorovania

Na ÚI SAV vyvíjame inteligentný multi robotický swarm pre prehľadávanie a monitorovanie rozsiahlych území. Systém je navrhnutý ako multi-agentový systém, pričom jednotlivé agenty sú autonómne. Ich koordinácia je založená na zdieľaní virtuálnej mapy prostredia a na virtuálnych feromónových značkách. Je navrhnutý tak, aby bol nezávislý na robotickej platforme. Vyznačuje sa flexibilitou, robustnosťou (dokáže pracovať aj v prípade poruchy jedného resp. viacerých agentov a boli testované aj prípady s poruchou v komunikácii), adaptívnosťou na rôzne typy prostredí, škálovateľnosťou a využívaním paralelného počítania.

Vykonávaciu vrstvu tvorí skupina mobilných agentov, ktorých počet je daný obmedzením komunikačnej vrstvy. V súčasnosti testujeme dva typy autonómnych mobilných robotov - UAV - vzdušné robotické prostriedky a pozemné Lego roboty. Mobilné roboty sú vybavené senzormi, ktoré snímajú prostredie a mikrokontrolérmi, ktoré zabezpečujú určitý stupeň inteligencie agentov. Pri testovaní v exteriéroch sa používa aj GPS systém na lokalizáciu. Rozpoznávame tri vrstvy riadenia mobilného multi-robotického systému: lokalizácia, lokálna navigácia a globálna

navigácia. Základné riadenie mobilného robota sa vykonáva priamo na robotickej platforme. K úlohám zýkladného riadenia patrí riadenie pohybu robota v závislosti od druhu robotickej platformy a vyhýbanie prekážkam. Pre globálnu navigáciu používame metódy inšpirované princípmi odpozeranými z prírody - virtuálne feromóny a časticovú optimalizáciu. (Masár, 2013).

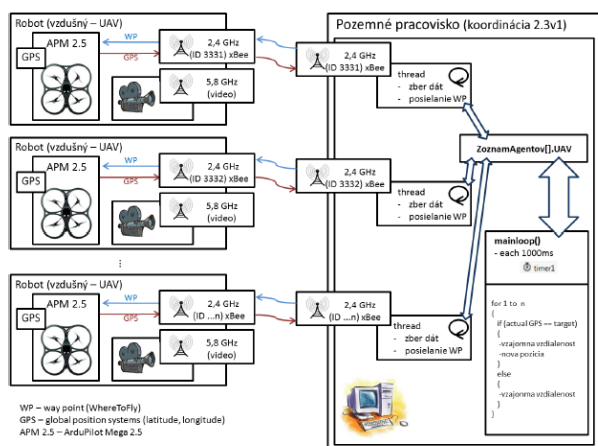


Obr. 1: Komponentový model inteligentného swarmu pre prehľadávanie a monitorovanie.

Komunikačná vrstva zabezpečuje komunikáciu medzi agentami navzájom a medzi mobilnými agentami a centrálnym počítačom. Komunikačná vrstva je tvorená vysielacími a prijímačmi. Sú tam špecifikované kanály pre dáta slúžiace na koordináciu skupiny agentov a na dáta súvisiace s plnením misie.

Riadiaca vrstva slúži aj na spracovanie údajov zo snímačov. Túto vrstvu je možné presunúť na klaud a tak významne zvýšiť schopnosti systému predovšetkým v spracovaní údajov zo snímačov.

Komponentová schéma testovacieho prostredia podľa Zelenku a Kasanického (2014) je znázornená na obr. 2.



Obr. 2: Schéma testovacieho systému

Komunikácia medzi mobilnými agentami je zabezpečená prostredníctvom dvojice xBee modulov, pričom táto dvojica má nastavenú rovnakú PAN ID adresu ale odlišnú od ostatných xBee modulov. Komunikácia mobilný agent - PC je zabezpečená prostredníctvom komunikačného protokolu MavLink¹ a pre každého mobilného agenta sa na strane PC spustí samostatné vlákno, ktoré nastavuje parametre prislúchajúceho agenta v PC.

Pre prenos video signálu a spracovanie obrazu má každá kamera na strane mobilného agenta a na strane PC vlastný prijímač. K zmiešavaniu signálu nedochádza, pretože pásmo 5.725 GHz - 5.875 GHz je odstupňované po 7-14-28Mhz.

Vykonané testy v roku 2014 overili správnosť konceptu a ukázali schopnosť systému pracovať v reálnom prostredí.

7 Záver

Budúcnosť robotiky v klaudových infraštruktúrach so sebou prináša množstvo výziev ale aj rizík, s ktorými sa musí spoločnosť vyrovnávať. Sú oblasti, kde používanie robotov bude nenahraditeľné (práce v nebezpečných prostrediach a na nebezpečných úlohách, ako napr. odminovanie, práce na vzdialených pôsobiskách - výskum vo vesmíre, práce v mikro priestoroch - mikrochirurgia, mikro- a nano-mechanika), ale aj oblasti, kde využívanie robotov bude musieť podliehať regulácii so strany spoločnosti.

Medzi aktuálne problémy, s ktorými sa musí klaudová robotika vysporiadať patrí najmä problém riešenia konfliktných situácií v prípade, že viaceré roboty pristupujú k tým istým inštanciam klaudovej infraštruktúry, problém generovania nekompatibilných informácií, konfigurácií a pod. Široké využívanie autonómnych robotických platforiem prináša so sebou nové etické problémy, s ktorými sa musíme vysporiadať ako legislatívne, tak aj emočne. Ide najmä o otázky ochrany súkromia, bezpečnosti ľudí, ale aj otázky zamestnanosti, dostupnosti služieb a pod. Roboty, tak ako aj iné výdobytky ľudského pokroku, sú tu predovšetkým na to, aby nám slúžili k rozvoju obecného blaha a dobra. Ich zneužitie je však možné a veľmi ľahko uskutočniteľné. Preto ruka v ruke s výskumom klaudovej robotiky musí ísť výskum v oblasti zabezpečenia a ochrany robotických systémov pred zneužitím.

Podakovanie

Tento príspevok vznikol za podpory grantovej agentúry VEGA v rámci grantovej úlohy 2/0194/13.

¹ <http://qgroundcontrol.org/mavlink/start>

Literatúra

- Cádrik T., Ondo J., Mach M., Sinčák P. (2015) Základná architektúra claudového prostredia na podporu multirobotických systémov (1, 2 a 3), In ATP Journal, roč. 22, č. 1, 2 a 3
- Ermacora G., Toma A., Bona B., Chiaberge M., Silvagni M., Gaspardova M., Antonioni R.: A cloud robotics architecture for an emergency management and monitoring service in a smart city environment.
- Gi Hyun Lim, Il Hong Suh, Hyowon Suh (2011) Ontology-Based Unified Robot Knowledge for Service Robots in Indoor Environments, In IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part A: Systems and humans, VOL. 41, NO. 3, May 2011
- Guizzo E. (2011) Robots with their heads in the clouds, In Spectrum, IEEE, vol. 48, no. 3, pp. 16-18
- Haidegger Tamás, Barreto Marcos, Gonçalves Paulo, Habibe Maki K., Ragavan Sampath Kumar Veera, Li Howard, Vaccarella Alberto, Perrone Roberta, Prestes Edson (2013) Applied ontologies and standards for service robots, In Robotics and Autonomous Systems
- Chella Antonio, Cossentino Massimo, and Seidita Valeria. (2011). Self-conscious Robotic System Design Process—From Analysis to Implementation. In From Brains to Systems. Brain-Inspired Cognitive Systems 2010 Series: Advances in Experimental Medicine and Biology
- Chella Antonio, Cossentino Massimo, Pirrone Roberto, Ruisi Andrea (2002) Modeling Ontologies for Robotic Environments, In Proc. Of The 14th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering.
- Kehoe B., Patil S., Abbeel P., Goldberg K. (2015) A survey of Research on Cloud Robotics and Automation, in IEEE Transaction on Automation Science and Engineering, goldberg.berkeley.edu/pubs/T-ASE-Cloud-RA-Survey-Paper-Final-2015.pdf
- Lorenčík, D., Cádrik T., Mach M., Sinčák P. (2014) Cloudová robotika. Vplyv claudového computingu na budúcnosť robotiky (1, 2 a 3), In ATP Journal, 2014, roč. 21, č. 3, 4 a 5
- Lorenčík P., Sinčák P. (2013) Cloud robotics: Current trends and possible use as a service. In proc. Of the IEEE International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics SAMI 2013
- Luca Gherardi and Hunziker, Dominique and Mohanarajah, Gajamohan (2014). A Software Product Line Approach for Configuring Cloud Robotics Applications, in Proc. IEEE Cloud 2014
- Masár Marek (2013) “A biologically inspired swarm robot coordination algorithm for exploration and surveillance” In INES 2013 : IEEE 17th International Conference on Intelligent Engineering Systems 2013
- Mell P., Grance T. (2011) The NIST Definition of Cloud Computing
- Mohanarajah, Gajamohan and Hunziker, Dominique and Waibel, Markus and Raffaello (2014) Rapyuta: A Cloud Robotics Platform, In IEEE Transactions on Automation Science and Engineering
- Mohanarajah, Gajamohan and Usenko, Vladyslav and Singh, Mayank and Waibel, Markus and D'Andrea, Raffaello (2014 b) Cloud-based Collaborative {3D} Mapping in Real-Time with Low-Cost Robots, In IEEE Transactions on Automation Science and Engineering
- Prestes Edson, Carbonera Joel Luis, Fiorini Sandro Rama, Jorge Vitor A. M., Abel Mara, Madhavan Raj, Locoro Angela, Goncalves Paulo, Barreto Marcos E., Habib Maki, Chibani Abdelghani, Gérard Sébastien, Amirat Yacine, Schlenoff Craig (2013) Towards a core ontology for robotics and automation, In Robotics and Autonomous Systems.
- Rudas I.J (2012) Cloud Computing in Intelligent Robotics, IEEE 10th Jubilee Int. Conference on Intelligent Systems and Informatics, pp. 15, 20-22 SISY 2012
- Tenorth Moritz and Kamei Koji and Satake Satoru and Miyashita Takahiro and Hagita Norihiro (2013). Building Knowledge-enabled Cloud Robotics Applications using the Ubiquitous Network Robot Platform IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2013.
- Weibel M., Beetz M., D'Andrea R., Janssen R., Tenorth, M., Civera J., Elfiring J., Gávez-Lopez D., Häussermann K., Montiel J., Perzylo A., Schiessle B., Zweigle O., van de Molengraft R. (2011) "RoboEarth - A World Wide Web for Robots", in Robotics and Automation Magazine, vol. 18, no.2, pp.69-8
- ZELENKA, Ján - KASANICKÝ, Tomáš. Insect pheromone strategy for the robots coordination. In Applied Mechanics and Materials. Eds. Hajduk, M., Kukolova, L., 2014, vol. 613, p. 163-171. ISSN 1660-9336.