



ROBOȚI EOD. ISTORIC, UTILIZARE ȘI PERSPECTIVE

EOD ROBOTS. HISTORY, USING AND PERSPECTIVE

CONSTANTIN DANIEL

Postdoctorand în cadrul Istitutului de Economie Mondială
Academia Română

Email: dconstantin77@yahoo.com

Rezumat: În cadrul acestei lucrări se încearcă prezentarea situației utilizării roboților mobili în cadrul misiunilor EOD (Explosive Ordnance Disposal), misiuni ce presupun în principal activități de supraveghere/monitorizare, manipulare și distrugere a dispozitivelor explozive . Se va urmări analiza sistemelor principale a unui astfel de robot (locoțiție, manipulare, senzorial, de comandă și control) identificând principalele realizări în domeniu. De asemenea se vor prezenta câteva direcții actuale de cercetare/dezvoltare în domeniul roboților EOD.

Cuvinte cheie: EOD, roboți EOD, sisteme de manipulare

Abstract: In this paper the state of the art of using the EOD Robots (Explosive Ordnance Disposal Robots) in missions that involve mainly surveillance / monitoring, manipulation and neutralization of explosive devices is presented. The main systems of such types of robot (locomotion, manipulation, sensory, command and control) were analyzed and the main achievements in the field were detailed. Also, this paper presents several directions of research & development for the EOD Robots.

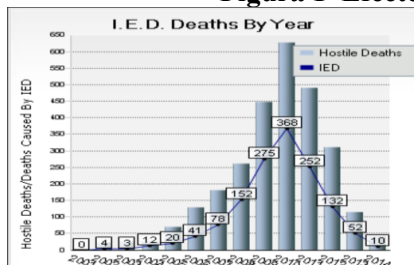
Keywords: EOD, EOD robot, manipulation system

1. Necesitatea utilizării roboților EOD

În zonele în care au loc sau au avut loc conflicte militare de mică sau de mare amploare se găsește o mare varietate de mecanisme explozive standardizate sau improvizate, rămase neexplodate. Mecanismele explozive amenință atât forțele și mijloacele (figura 1a) care contribuie la îndeplinirea misiunilor, libertatea de mișcare/acțiune, provoacă pierderi în personal, tehnică de luptă și îngreunează folosirea mijloacelor de sprijin logistic dat afectează și societatea civilă.

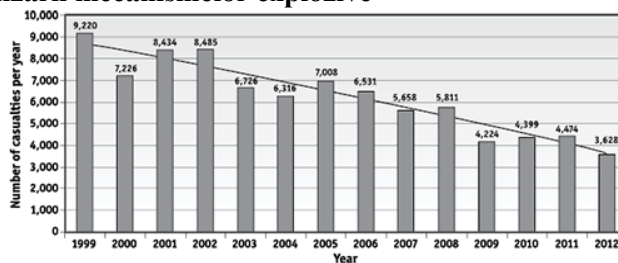
Landmine and Cluster Munition Monitor (“the Monitor”), organizație pentru monitorizarea societății civile cu privire la consecințele umanitare provocate de explodarea minelor terestre, a munițiilor cu dispersie și a resturilor explozive de război publică anula statisticii deloc de neglijat cu privire la acțiunea acestor tipuri de mecanisme explozive (figura 1b).

Figura 1 Efectele utilizării mecanismelor explozive



a) decese cauzate de dispozitive explozive improvizate armatei USA în Afganistan

Sursa: <http://icasualties.org/oef/>



b) decese cauzate de explozia minelor asupra populației civile

Sursa: www.the-monitor.org/index.php/LM/The-Issues/FAQs

Principale tipuri de mecanisme explosive sunt (Ioan-Dan Popa,2003):

- dispozitivelor explozive/Explosive Ordnance (EO) - mecanismele explozive standardizate din care fac parte minele antiblindate si antipersonal, proiectilele, rachetele, bombele, încărcăturile de explozie, torpilele , submunițiile etc.;
- dispozitivele explozive improvizate/Improvised Explosive Device (IED) - mecanismele explozive improvizate (nestandardizate) confectionate în diverse situații de către persoane neautorizate sau răuvoitoare.

Toate tipurile de E.O. sau I.E.D. care nu a explodat (din orice motiv) dar care pot exploda în orice moment, provocând astfel (Manualul EOD, 2003) distrugerii umane si materiale poartă denumirea de muniție neexplodată/ UneXploded Ordnance (U.X.O)

În cadrul structurilor specializate ale statelor s-au dezvoltat structuri specializate pentru neutralizarea și distrugerea munițiilor/dispozitivelor explozive/Explosive Ordnance Disposal (EOD). Conform (STANAG 2143,2014) termenul de EOD este definit ca „detecția, identificarea, evaluarea pe locul de dispunere, punerea în stare sigură/neutralizarea, recuperarea și distrugerea UXO, IED și munițiilor care au devenit periculoase ca urmare a deteriorării sau șocării.”

Intervenția pentru neutralizarea unui incident EOD presupune aplicarea, în toate împrejurările, a unor moduri particulare de acțiune conform unor principii generale (Manualul



EOD,2004) dintre care cele mai importante sunt principiul riscului minim, principiul numărului minim de persoane pe timpul executării misiunii, principiul timpului minim de expunere

În accepțiunea actuală (Alec&Olaru&Gâlmeanu,2001), robotul este definit ca un sistem sau un echipament cu funcționare automată, adaptabilă prin (re)programare (manuală sau automată) condițiilor unui mediu complex și variabil în care acționează, prelungind (amplificând) sau înlocuind una sau mai multe dintre funcțiile umane în acțiunea acestuia asupra mediului.

Eforturile de cercetare privind folosirea roboților în misiuni EOD au fost orientate preponderent pe direcția satisfacerii cerințelor de înlocuire a personalului uman pentru executarea unor misiuni cu grad sporit de risc în medii dificil de controlat. Ca rezultat al acestor eforturi, au intrat în înzestrarea forțelor specializate: roboți mobili capabili să execute, prin comandă de la distanță, misiuni de recunoaștere, cercetare, neutralizare de muniții și dispozitive explozive improvizate sau pe scurt roboți EOD.

Principalul scop al folosirii roboților EOD este reprezentat de eliminarea expunerii directe a personalului la efectul UXO. Roboții EOD se folosesc pentru executarea recunoașterilor și neutralizarea de la distanță a munițiilor/dispozitivelor explosive iar avantajele folosirii unui astfel de sistem robot în timpul unei misiuni de intervenție EOD sunt în principal:

- creșterea siguranței – intervenții fără angajarea directă a operatorului uman;
- reducerea timpului de lucru la o acțiune ;
- precizie și exactitate în oferirea unor informații necesare procesului de luare a deciziilor cu privire la misiune;
- reducerea costurilor– poate minimiza impactul economic și social al unui accident.

2. Realizări în domeniul roboților EOD

Istoria menționează pentru prima dată folosirea unui robot pentru misiuni EOD, robotul Wheelborow în anul 1972 (figura 2a). În acel an locotenent-colonelul Peter Miller a solicitat unei echipe de ingineri ai armatei britanice construirea unui astfel de robot, după ce opt colegii, tehnicieni EOD și-au pierdut viața în timpul unor misiuni din cauza unor dispozitive explozive produse de IRA în mai puțin de un an (Smith, 2001). De-a lungul anilor acesta a suferit numeroase modificări și îmbunătățiri, fiind utilizat cu succes în numeroase misiuni (figura 2b) fiind dezvoltat de firma *Northrop Grumman*.

Figura 2. Robotul EOD – Wheelbarrow



a) Wheelbarrow (1972)



b) Remotec Wheelbarrow Mk9

Sursa:

www.northropgrummaninternational.com/wp-content/uploads/2013/09/Remotec-Wheelbarrow-Mk9.pdf

La sfârșitul anilor 1990, o mică companie germană telerob GmbH (din 2006 preluată de britanicii de la Cobham PLC) începe să dezvolte o nouă generație de roboți EOD. Principalele produse ale acestora în domeniul roboților EOD : *tEODor* (450 unități în 41 țări), și versiunea de dimensiuni mai mici *telemax* reprezintă referințe în domeniu în ceea ce privește performanța (Figura 3a).

În 1996 o companie iRobot Corp dezvoltă un robot Ariel pentru identificarea și neutralizarea minelor. Începând cu anul 1998 odată cu câștigarea concursului DARPA de roboți mobile tactici compania a început dezvoltarea unuia dintre cei mai reușiți roboți EOD: PackBot. Modular, adaptabil și extensibil, versiunea actuală iRobot 510 PackBot, poate efectua misiuni de neutralizare a sistemelor explozive, supraveghere și recunoaștere, operațiunile de detectare CBRN și de manipulare HAZMAT (Figura 3b).

Inițial lansat în anul 2000 de către *Foster-Miller, Inc.* (acum *QinetiQ North America*), sistemul robot *TALON* s-a dezvoltat prin includerea mai multor module ce permit executarea unor misiuni specifice de la recunoaștere până la unitate suport pentru trupele SWAT / MP (Figura 3c).

Figura 3 Roboți EOD



a) Telemax și tEODor

Sursa:

www.cobham.com



b) PackBot

Sursa:

www.irobot.com



c) TALON

Sursa:

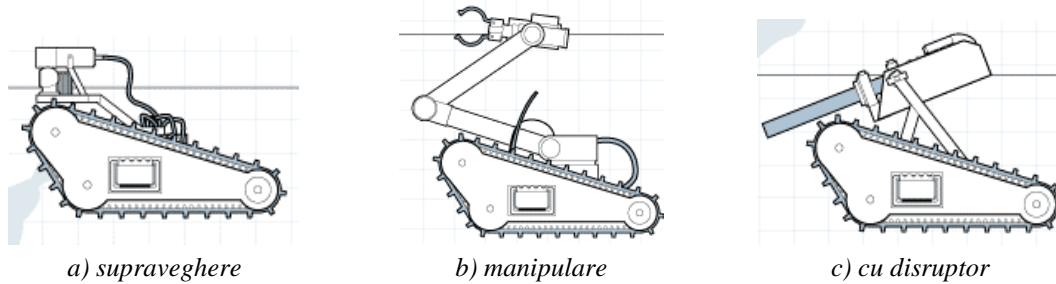
www.qinetiq-na.com/

3. Structura generală a roboților EOD

Scopul principal al robotului EOD este de a oferi siguranță prin eliminarea expunerii directe a personalului la efectul UXO oferind o linie suplimentară de apărare prin:

- asigurarea posibilității de supraveghere și monitorizării de la distanță a zonei de interes și a obiectului de interes (figura 4a);
- oferirea posibilității de manipulare a obiectelor din zona de interes (figura 4b);
- posibilitatea utilizării unor dispozitive specifice (ex. disruptor) folosite în misiuni de neutralizare sau distrugerii de UXO (figura 4c).

Figura 4 Configurațiile robotul MATILDA (Mesa Robotics)

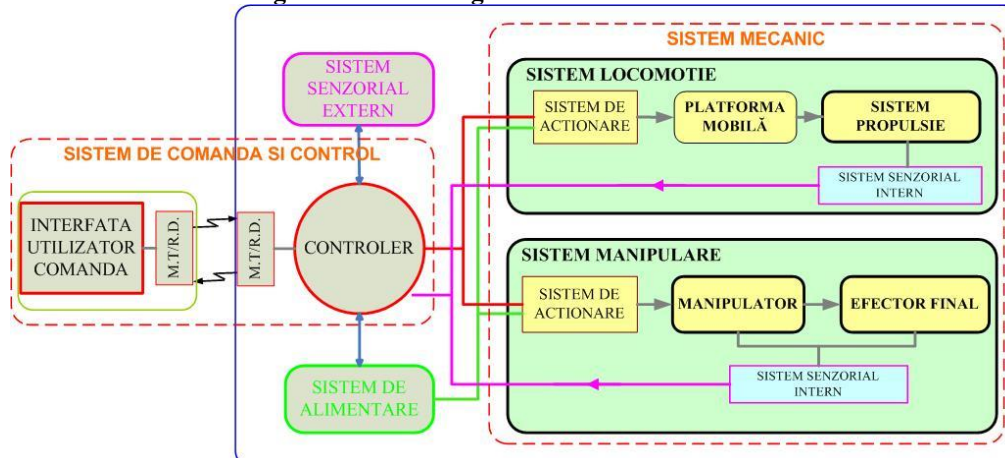


Sursa: science.howstuffworks.com/military-robot.htm

Analiza funcțiilor generale și specifice a unui robot EOD conduce către determinarea unei structuri generale ca în figura 5, compusă din următoarele sisteme principale:

- Sistem de locomoție (asigură capabilitatea de mobilitate a sistemului și asigură suportul pentru celelalte componente)
- Sistem de manipulare (asigură operația de manipulare a obiectului de interes)
- Sistem senzorial (oferă informații despre mediul extern și intern al robotului)
- Sistemul de comandă și control (integrează și gestionează toate celelalte sisteme la nivel de comandă și control).

Figura 5 Structura generală a unui robot EOD



Sursa:Constantin, 2009

A. Sistemul de locomoție are rolul de a asigura mobilitatea sistemului.

Pentru roboții mobili, **funcția de mobilitate** reprezintă în cazul general capacitatea de deplasare fără ajutor extern între două poziții, sau mai precis:capacitatea de evoluție într-un mediu



dificil și variat; posibilitățile existente în evitarea sau depășirea obstacolelor și performanțele realizate.

Situațiile speciale pentru roboți militari mobili impun utilizarea acestora în diverse medii incluzând teren accidentat, medii de interior sau exterior, fiind necesară astfel o abordare mai complexă privind alegerea mecanismului de locomoție. Este foarte important să existe un mecanism mobil cu o eficacitate bună în condiții de sol diferite. Cele mai folosite mecanisme locomoție mobilă: cu roți (pentru roboți EOD de dimensiuni mari), cu șenile sau mixtă (pentru roboții EOD de dimensiuni medii și mici) .

Sistemul de locomoție ales trebuie să asigure funcția de propulsie și funcția de direcție pentru robotul EOD. Modul de dispunere, numărul și rolul sistemelor de locomoție alese poate varia în funcție de destinația prioritară a unui robot EOD dar nu există nici o configurație care să maximizeze simultan stabilitatea, manevrabilitatea și controlul. Fiecare dintre acestea impune robotului mobil constrângeri unice, iar sarcina proiectantului este de a alege configurația optimă în funcție de misiunea acestuia. Pentru o mai bună locomoție în teren accidentat, anumite mecanisme cu roți și șenile au nevoie de mecanisme suplimentare pentru o adaptare mai bine la mediu respectiv.

Sistemul de locomoție cu șenile este preferat de majoritatea producătorilor de roboți EOD deoarece prezintă următoarele caracteristici funcționale: permite obținerea unei cinematici simple, cu mers rectiliniu ferm și o variație largă a razei de viraj de la zero la infinit; acționarea este simplă; presiunea medie pe sol are valori scăzute; capacitate sporită de abordare a obstacolelor și prezintă rezistență sporită la acțiunea terenului.

B. Sistemul de manipulare are rolul de a asigura procesele de mișcare și/sau aplicarea de forțe corespunzătoare acțiunilor mecanice directe asupra mediului

Funcția de manipulare a unui robot se poate descompune în trei componente (Constantin, 2009), fiecărei componente corespunzându-i un anumit mecanism specific :

- deplasarea obiectului manipulat în spațiu efectuată de mecanismul generator de traiectorie;
- modificarea orientării obiectului manipulat efectuată de mecanismul de orientare;
- apucarea, păstrarea și eliberarea obiectului manipulat efectuată de mecanismul de apucare/prehensiune (gripper-ul).

a) Mecanismul generator de traiectorie (MGT) este elementul funcțional ce asigură deplasarea într-o anumită zonă din spațiu, exprimată prin spațiul de lucru și poziționarea acestuia în limitele toleranțelor date de condițiile de acuratețe, este reprezentat la nivelul structurii mecanice de mecanismul generator de traiectorie.

Configurația și mărimea acestor spații de lucru, depind de structura mecanismului de poziționare, de felul cuplelor cinematice, precum și de dimensiunile elementelor cinematice. Pentru majoritatea roboților EOD se preferă un MGT de tip lanț cinematic deschis articulat deoarece acesta prezintă câteva avantaje evidente: asigură o mare flexibilitate în mișcării; permite poziționarea atât în interiorul cât și deasupra corpurilor cu geometrii complicate și acoperă un mare spațiu de lucru, în raport cu dimensiunile componentelor care o alcătuiesc și cu dimensiunile bazei de care sunt fixate

b) Mecanismul de orientare(MO) are rolul de a asigura orientarea efectorului final și de asemenea fixarea acestuia în cadrul sistemului. MO și MGT pentru majoritatea roboților EOD asigură între 4 și 7 grade de libertate.



c) Partea finală a unui manipulator, partea folosită de acesta pentru a interacționa cu mediul poartă denumirea de *efector final* (terminal), *dispozitiv (mecanism) de apucare / prehensiune, mână robot sau gripper*.

În procesul de alegerea a unei anumite configurații trebuie avut în vedere sarcinile pe care acesta trebuie să le execute, masa, dimensiunile, forma și rezistența obiectelor ce trebuie manipulate. Funcția de apucare trebuie orientată pe sarcină, cu planificarea capacității maxime de manipulare și a direcției optime de respingere a perturbațiilor. Mecanismele de apucare, specifice roboticii sunt încă limitative, în raport cu mâna umană, fie datorită numărului de „degete”, fie ca urmare a posibilităților de acționare, senzoriale și de control.

Mecanismele de apucare, la care forța de strângere este aplicată obiectului manipulat cu ajutorul unor degete (bacuri) se bucură de cea mai largă răspândire, date fiind avantajele ce le prezintă: siguranță, bună centrare, posibilitatea manipulării sarcinilor mari, funcționarea în medii periculoase (zone contaminate NBC, temperatură). Majoritatea roboților EOD folosesc un sistem cu două bacuri cu mișcare de rotație datorită simplității constructive și posibilităților precise de control

C. Sistemul senzorial

Pentru a realiza interacțiunea robot-mediul trebuie să existe elemente sensibile (senzori), care să măsoare diferitele caracteristici ale mediului sau ale obiectelor din mediu și o unitate de calcul, care să prelucreză în timp real informația senzorială, să o transforme într-o formă utilă pentru sistemul de comandă.

În concordanță cu modificările imprevizibile ale mediului înconjurător un robot EOD are nevoie de următoarele categorii de informații (Constantin, 2009): descrierea generală a mediului de lucru; caracteristicile fizico-chimice ale obiectelor cu care intră în interacțiune; poziția și orientarea robotului și a organelor sale efectuate.

Sistemul senzorial al robotului cuprinde senzori proprioceptivi (traductoare) care furnizează informații despre starea internă a robotului (configurație, temperatură, curent, etc.) și senzori exteroceptivi care furnizează informații despre starea mediului în raport cu robotului.

Roboții pentru intervenții operează într-un mediu dinamic, în care se pot produce schimbări rapide, în oricare direcție a câmpului lor de acțiune și de aceea au nevoie de sisteme vizuale performante cu rezoluție ridicată, format dintr-o cameră PTZ principală și mai multe camere secundare dispuse astfel încât să asigure tot perimetrul din jurul robotului. Pentru îndeplinirea unor misiuni specifice roboții de intervenție au nevoie și de un set suplimentar de senzori destinați să măsoare și să alerteze personalul despre eventualele amenințări de natură explozivă, chimică, bacteriologică sau nivel de radiații.



D. Sistemului de comandă și control

Controlul roboților mobili bazat pe operare la distanță necesită un sistem robust cu o interfață intuitivă, flexibilă și eficientă. Deoarece robotul EOD înlocuiește un operator uman, acționează la distanță dar operațiunea trebuie să fie efectuată de către o ființă umană din cauza imprevizibilității sarcinilor ce pot apărea se folosește un sistem de comandă și control de tip teleoperare. Standardul ISO definește robotul teleoperat ca fiind robotul care extinde capacitățile motorii ale omului într-un loc îndepărtat iar robotul răspunde la comenzile unei ființe umane sau la un program creat de aceasta.

Un sistem teleoperare se bazează în arhitectura master-slave; cu sistemul de master situat într-o cameră de control (mediu local), iar sistemul de slave situat în mediul la distanță. Ambele sisteme necesită sisteme de comunicare și prelucrare a datelor, datorită distanței dintre ele. În cadrul sistemului master, operatorul uman acționează asupra sistemului de comandă (operator control unit - OCU) și este ghidat cu feedback-ul informațional (oferit de slave) pentru a executa sarcina de manipulare la distanță.

Legătura dintre operator și robot poate fi numită bilaterală dacă operatul posedă toate informațiile (vizuale, acustice, tactile, etc.) despre mediul de operare pe care le-ar avea dacă ar acționa direct fără ajutorul robotului. Un alt concept larg folosit este acela de teleprezență. Teleprezența presupune existența unei cantități suficiente de informații senzori (video, sunet, forță, etc.) care este adusă la locul de operare, iar operatorul se simte prezent la locul de acțiune.

4. Perspective ale roboților EOD

Principalele direcții de cercetare dezvoltare în domeniul roboților EOD sunt:

- dezvoltarea unor sisteme modulare, performante și adaptabile nevoilor a cât mai multor misiuni EOD
- îmbunătățirea performanțelor de autonomie energetică a robotului
- dezvoltarea unor sisteme de locomoție adaptabile și performante care să îmbunătățească performanțele de mobilitate cinematică și dinamice ale robotului
- dezvoltarea unor sisteme de manipulare performante și ușor de controlat și adaptabile unor misiuni cât mai variate
- dezvoltarea unor efectoare finale adaptate nevoilor misiunilor EOD cu posibilitatea de înlocuire automată
- dezvoltarea unor sisteme multi-senzor capabile să ofere cât mai multe informații operatorului
- dezvoltarea unor sisteme de control și a unor interfețe de comandă performante (haptice) care să ofere operatorului senzația de prezență reală (teleprezență) la locul de operare al robotului

5. Concluzii

În cadrul acestei lucrări s-a încercat prezentarea într-un mod cât mai succint a principalelor probleme legate de utilizarea roboților în domeniul EOD. În prima parte s-a prezentat necesitatea utilizării roboților în misiuni EOD deoarece aceștia înlocuiesc personalului uman în executarea unor misiuni EOD, misiuni cu grad sporit de risc în medii dificil de controlat.



Deși primul robot EOD a fost dezvoltat în anul 1972 (robotul Wheelbarrow) totuși principala perioadă de dezvoltare a acestui tip de robot este localizată după anul 2000 când mai multe firme au început să se preocupe de acest aspect.

Datorită diferitelor cerințe ale tipurilor de misiuni EOD: supraveghere, manipulare și distrugere a UXO nu este posibilă o configurație unică pentru un astfel de robot, dar se pot identifica câteva sisteme principale: de locomoție, de manipulare, senzorial, de comandă și control. Au fost analizate fiecare dintre aceste sisteme prezentându-se principalele realizări în domeniu.

În ultima parte a lucrării au fost prezentate câteva dintre direcțiile principale de cercetare-dezvoltare în domeniul roboților EOD.

Bibliografie:

1. Alecu L., Olaru Gh., Galmeanu (2001) - *Mecanica manipuloarelor și roboților de geniu*, Academia Tehnică Militară
2. Constantin, Daniel (2010) - *Contribuții privind cinematica și dinamica roboților pentru intervenții în situații speciale*, Teză de doctorat, Academia Tehnică Militară, București
3. Popa, Ioan-Dan (2003) - *Acțiunea echipelor E.O.D. (Explosive ordnance disposal) pentru neutralizarea mecanismelor explozive*, Anuarul Academiei Fortelor Terestre Nr. 2, Sibiu
4. Smith, Michael (2001) - *Calls to honour inventor of bomb disposal device*, <http://www.telegraph.co.uk/news/uknews/1316277/Calls-to-honour-inventor-of-bomb-disposal-device.html>
5. ***<http://icasualties.org/oef/>
6. ***<http://www.the-monitor.org/index.php/LM/The-Issues/FAQs>
7. ***Manualul E.O.D., Editura Centrului de Pregătire a Specialistilor în Controlul Mecanismelor Explozive, Râmnicu Vâlcea, 2003.
8. ***STANAG 2143 (Edition 4): Explosive ordnance reconnaissance/explosive ordnance disposal (EOR/EOD), NATO Standardization Agreement(STANAG), 2014
9. ***<http://www.northropgrummaninternational.com/wp-content/uploads/2013/09/Remotec-Wheelbarrow-Mk9.pdf>
10. ***<http://www.cobham.com/about-cobham/mission-systems/unmanned-systems/products-and-services/remote-controlled-robotic-solutions.aspx>
11. ***<http://www.irobot.com/About-iRobot/Company-Information/History.aspx>
12. ***<https://www.qinetiq-na.com/products/unmanned-systems/talon/>
13. ***Ed Grabianowski, How Military Robots Work, <http://science.howstuffworks.com/military-robot.htm>

Acknowledgements:

Aceasta lucrare a fost realizată cu sprijinul finanțării obținute în cadrul proiectului de studii doctorale și postdoctorale: „Studii doctorale și postdoctorale Orizont 2020: promovarea interesului național prin excelență, competitivitate și responsabilitate în cercetarea științifică fundamentală și aplicată românească” Contract POSDRU/159/1.5/S/140106.