

¿QUE SON NANOROBOTS?

*Laercio H. Simões¹,
Lizbeth P. Aguilar²,
Sergio T. Kofugi¹*

¹Pervasive and Distributed Computing Group – Universidade de São Paulo (USP)

²Department of Mechanical Engineer – Universidade de São Paulo (USP)

{laercio,kofugi}@pad.lsi.usp.br, lizbeth.aguilar@poli.usp.br

ABSTRACT

With the evolution of nanotechnology we can build nanomechanism, that could be used too many activities. Thus we can preview to a no far future the existence of nanorobots and nanocomputers. How this works and implication in the human life are the aspects analyzed in this paper. The Asimov laws, proposed to control the existence of robots has little or none application in this new set, making a big worry that need to be discussed. The build of invisible murderous is a real possibility that scare the people and little can be done today to avoid this kind of trouble.

Keywords: Nanotechnology, Nanorobots, Asimov Laws.

RESUMO

Con la evolución de la nano-tecnología se puede construir nano-mecanismos que poden ser utilizados para muchas actividades. Así podemos preveer para un futuro no muy distante la existencia de nanorobots y nanocomputadores. Como ellos funcionarían y las implicaciones en la vida humana son aspectos evaluados en este artículo. Las leyes de Asimov propuesta para controlar la existencia de robots tienen poca o ninguna aplicación en este nuevo escenario, creando grandes preocupaciones que necesitan ser discutidas. La construcción de robots asesinos es una real posibilidad que asusta las personas y poco puede ser hecho hoy para evitar este tipo de problema.

Palabras Claves: Nanotecnología, Nanorobots, Leis de Asimov.

1. INTRODUCCIÓN

El gran avance de la nanotecnología está permitiendo la creación de nanorobots que pueden ser usados en una gran variedad de aplicaciones. La nanotecnología es una ciencia que estudia los objetos de tamaño nanométrico (1 nanómetro es la mil millonésima parte de 1 metro) y permite manipular los átomos uno a uno para formar distintas configuraciones y hacerlos reaccionar para formar compuestos moleculares con propiedades y funciones preestablecidas. Paralelo a estas investigaciones han sido desarrollados muchos trabajos en robótica en el “macro mundo”. El conocimiento adquirido en esta área puede ser usado en la Nanorobótica. En este artículo, analizamos las principales características esperadas que estarán disponibles en nanorobótica y los posibles avances en la nano computación que podrían ser usados para crear la estructura necesaria para hacer tareas complejas en ambientes inéditos.

Las recientes investigaciones en el campo de la nano-tecnología, permite grandes oportunidades para investigar y manipular problemas en la escala nano. Este excitante y nuevo campo viene derramando una nueva luz en el mundo a nuestro alrededor, proveniente de nuevas oportunidades para proyectar y desarrollar dispositivos con capacidades sin precedencia [Ferreira 2005]. El desenvolvimiento más interesante en esta área son los nano médicos, pequeños robots construidos para curar enfermedades a nivel celular, donde un conjunto de estos dispositivos podrían atacar y destruir células defectuosas sin afectar las células saludables.

Existe el recelo de que las máquinas acaban sustituyendo a los humanos y cada vez se hace más real la medida que la tecnología avanza. Las famosas leyes de la robótica enunciadas por Isaac Asimov pueden ser usadas con una connotación más actual:

1. Los robots deben continuar substituyendo personas en tareas peligrosas e insolubles (eso beneficia a todos).
2. Los robots deben continuar substituyendo personas en tareas que ellas no quieren desarrollar (esta también benéfica a todos)
3. Los robots deben substituir a las personas en aquellas tareas en que los robots son más viables económicamente, robots deben substituir personas en tareas en que robots son más viables económicamente. (Esto perjudicará muchos inicialmente pero, inevitablemente, beneficiará a todos a medio y largo plazo)

A pesar de estas reglas ponderen ser ejecutadas tanto en robots como en nanorobots, poco o casi nada puede ser hecho para impedir que alguien no respete estas reglas. En Nanorobótica el escenario es más aterrador puesto que los robots son invisibles al ojo humano, creando una situación muy parecida con la guerra biológica.

2. ROBÓTICA

La *Robotic Industries Association* (RIA) define un robot como siendo un manipulador programable multifuncional capaz de mover materiales, partes, herramientas y dispositivos específicos a través de movimientos variables programados para realizar una variedad de tareas [Russel y Norvig 1995]. Esta definición describe toda una categoría de máquinas, entonces todo equipo que es capaz de ser programado de cualquier forma es considerado robot.

Podemos clasificar las máquinas-herramientas conforme la figura abajo:

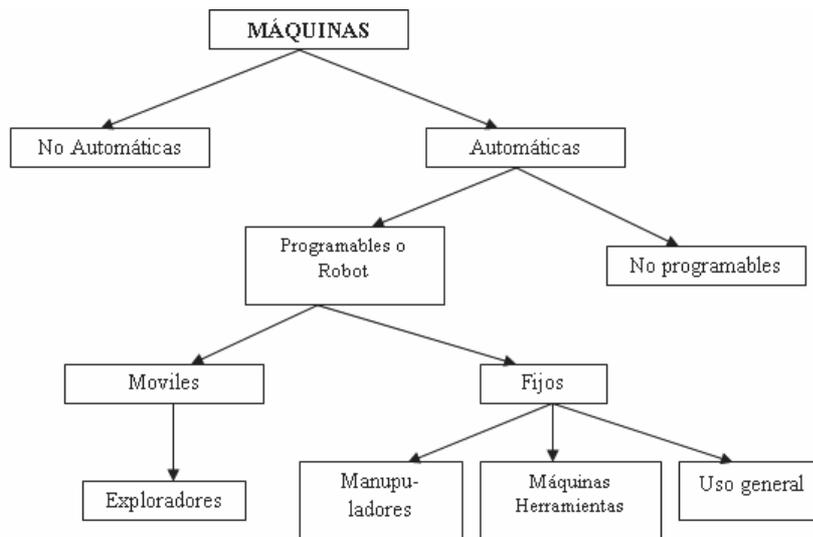


Figura 1 - Posible Clasificación para Maquinas (Silva, 2003)

Además de la clasificación funcional también se puede clasificarlos segundo su grado de complejidad [Nof 1999]:

- **Primera Generación:** Son robots típicamente utilizados en ambientes industriales que no contienen inteligencia, el ambiente en el que ellos actúan debe ser preparado pues ellos no son capaces de percibir objetos a su alrededor con exactitud. Estos robots son usados en fábricas debido al aumento de la productividad y calidad de los productos.
- **Segunda Generación:** La rápida expansión del mercado de los semiconductores hicieron que las computadoras se tornaran productos baratos y suficientes para equipar un robot. Sensores de fuerza, torque y proximidad pueden ser integrados proporcionando mayor adaptabilidad y precisión al trabajo que el robot irá desempeñar en el medio ambiente.
- **Tercera Generación:** Representan los modelos mas avanzados disponibles hoy. Se caracterizan por utilizar múltiples procesadores, cada uno de ellos funcionando de forma asíncrona e independiente de los demás pues poseen sistemas de supervisión y de control de alto nivel que son capaces de comunicar con otros sistemas y su potencial aún esta siendo estudiado así como el gran uso de la nanotecnología que se pretende investigar para solucionar problemas en el área de medicina.

•

Todo robot móvil o no, posee características abajo:

Manipulador	Parte mecánica del robot
Actuador	Es el dispositivo responsable por el movimiento del robot, son los responsables para que los robots actúen en el mundo físico. Por ejemplo: Motores
Sensor	Es el dispositivo sensorial del robot. El dispositivo actuador, es la parte vital para un buen funcionamiento de un robot, porque el mundo del robot restringe las interfaces del mundo físico – sensor y mundo físico – actuador. Todos los algoritmos que son ejecutados por el CPU dependen de la respuesta de este dispositivo.
Controlador	Es la unidad central, generalmente representada por un computador y responsable por el control de todos los dispositivos y planeando las acciones de la maquina.
Fuente de Energía	Necesaria para el funcionamiento del controlador por consecuencia de todas las otras partes.
Transmisores	Representados por engranajes, correas, cajas de reducción. Estan presentes en robots industriales de medio y grande porte para la transmisión de energía mecánica.

El proyecto de los robots móviles autónomos representa un desafío a los investigadores debido a los siguientes puntos [Russel y Norvig 1995]:

- El mundo es inaccesible, sensores no son perfectos en percibir el mundo real.
- El no es determinista, existen mucha incertidumbre por eso no puede ser completamente conocido.
- El mundo no es episódico, los efectos de una acción cambian al pasar el tiempo, entonces aparecen problemas de decisión y aprendizaje que deben ser tratados.
- El mundo es dinámico, es necesario saber cuando se delibera y cuando actuar.
- El mundo es continuo, la evolución de los estados internos de la programa del robot evolucionan de forma discreta mientras que el mundo real es continuo lo que dificulta la programación y la estimación de las acciones e comportamientos.

3. NANOROBÓTICA

La nanotecnología estudia los objetos de tamaño nanométrico (1 manómetro es la mil millonésima parte de 1 metro) y permite manipular los átomos uno a uno para formar distintas configuraciones y hacerlos reaccionar para formar compuestos moleculares con propiedades y funciones preestablecidas.

Robots invisibles al ojo humano son usados en varias áreas de la ciencia. En la medicina pueden circular por la corriente sanguínea con el único objetivo de curar lesiones, combatir un virus y destruir células cancerosas por eso que la nanotecnología revolucionara a ciencia y la medicina [Clarín 2004]. Existen nanorobots que capturan y manipulan moléculas en nutrientes que posteriormente serán injertadas en áreas preestablecidas de acuerdo a una orden de mando, estos robots pueden ser mucho mas pequeños que un glóbulo rojo que son usados para moverse en medios viscosos o químicamente agresivos que pretenden desviar obstáculos y evitar un ataque del sistema inmunológico del cuerpo humano [Nanorobótica Medicinal 2004].

Investigaciones en California están tratando de construir nano robots que combatan la diabetes; por otro lado existe un proyecto de la Universidad de Campinas, de Brasil, junto con la Universidad de Tel-Aviv, de Israel, estudia aplicación de nanorobots para solucionar problemas cardiovasculares.

Adriano Cavalcanti, investigador de la Universidad de Campinas - Brasil, afirma que: “En un escenario Internacional existen varios grupos de discusión y investigación sobre las piezas de un nanorobot pero no sucede lo mismo con los mecanismos de control”; El profesor Kretly afirma “Es como si el robot fuese un carro y el mundo tiene investigado sobre la mejor suspensión, el mejor motor, las mejores llantas, etc. Es necesario saber cual es la mejor solución para estar en el volante y como que puede ser mejorada”. Aun queda mucho por investigar como seria el control adecuado para estos robots.

Para lograr el control del movimiento y orientación de un nanorobot, investigadores hacen uso de un transponder, un sistema ultra-sonido que permite localizar una maquina y darle un trayecto, estos nano robots son programados para identificar obstáculos, moléculas diferentes, órganos que necesiten algún tipo de intervención, otros nanorobots que naveguen en el mismo espacio (para evitar colisiones y puedan trabajar en equipo). Para alcanzar un control de movimiento se debe modelar un ambiente semejante al que seria en realidad; por ejemplo si el robot tendría que transportarse en áreas extremadamente viscosas, seria igual a alguien quisiera nadar en una piscina de miel en un día de verano, entonces segundo los aspectos cinemática construimos ese ambiente.

4. NANOCOMPUTADORES

La construcción de nano-computadores exige conocimientos desde dinámica molecular cuántica hasta análisis cinemática. Posiblemente los nano-computadores deben ser contruidos con componentes biológicos, como las proteínas y el DNA. Aún no existe una metodología de desarrollo de nano-robots, existe una gran complejidad para el uso de biocomponentes, pero se tienen grandes ventajas para usarlos[Ummat 2005].

El Dr. Mavroidis de la universidad de Northeast, define cuatros pasos que deben ser seguidos hasta finalmente llegar a tener los nanocomputadores.

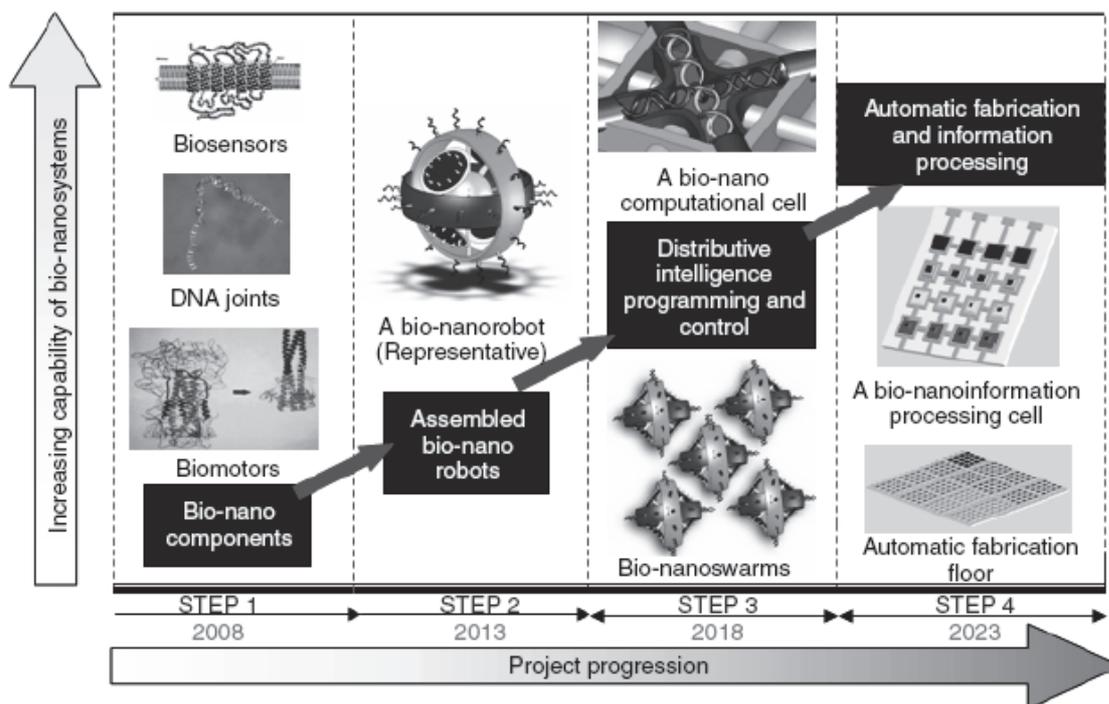


Figura 2 - Nanocomputers Roadmap

El primer paso, que debe estar finalizado para mediados del 2008, es el desarrollo de bio-nanocomponentes, que es el escalón inicial para el proyecto de desarrollo de bio-nano robots. Desde elementos simples como links estructurales hasta conceptos mas avanzados como motores, cada uno de los componentes necesita ser cuidadosamente estudiado y manipulado para el entendimiento de los límites de funcionalidades de cada uno de ellos.

El próximo paso que debe ocurrir por los años 2013, que envuelve bio-nanorobots a través de bio-nanocomponentes. Al principio debe ser desarrollada una “Biblioteca de bio-nanocomponentes” que irá incluir actuadores, sensores, fuentes de energía, señalizadores, etc. Por consiguiente, algunos nano-robots serán capaces de montar varios bio-componentes o nano-estructuras a través de recursos existentes en ambientes donde ellos se desarrollan, donde se llega a construir por ejemplo áreas de almacenamiento, mientras otros ejecutaran el trabajo físico, sin embargo ellos podrán “sentir el ambiente” y responder de la forma mas adecuada.

Posteriormente por los años de 2018, tendremos control y programación de inteligencia distribuida de estos ambientes, donde un conjunto de nano-robot colaborara entre si formando una colonia de nano-robot. Este paso será la base del concepto de Bio-nansowars (hormigueros o colonias de nanorobots). Este trabajo desarrollara el concepto de inteligencia distribuida, la capacidad de colaboración y computación, pu-

diendo almacenar y procesar complejas informaciones dentro del colonia que permitirá la construcción de arquitectura computacionales básicas.

Existe la necesidad de construcción de interfaces para la comunicación con el Macroworld, donde es necesario el desarrollo de computadores y dispositivos capaces de comunicarse con estos nanosistemas.

Inicialmente las células computacionales básicas para la obtención y almacenamiento de los datos en la escala nano son desarrollados, estas capacidades irán a permitir a las colonias programar el comportamiento de los bio-nanorobots, que posteriormente ellos sean aptos para enviar los datos del mundo nano de regreso para el mundo macro gracias a estos dispositivos.

Finalmente por los años de 2023 tendremos la fabricación automática de nanorobots y maquinas de procesamiento de información. Para la realización de misiones complejas es necesaria la construcción de colonias de nano-robots. La creación de métodos de fabricación automática de nano-robots *in vitro*. La capacidad de procesamiento de información de aprendizaje y toma de decisiones serán las preguntas claves para ser analizadas en esta etapa. La gerencia de consumo de energía, auto reparación, y evolución serán algunas de las características de estas colonias.

En el escenario previsto por los grupos de investigación, por los años 2060 existirá la posibilidad de colonización del espacio con nanorobots que monitoreo remoto, transmisión de señales y biométrica [Knobel y Yoga 2004].

Con los recursos oriundos de los nano-computadores tendremos la posibilidad de procesar una gran cantidad de información oriundas del ambiente, con eso una forma de resolver problemas serán creadas, posibilitando una nueva generación de soluciones para la medicina, manufactura y aplicaciones militares.

6. LOCALIZACIÓN DE CAMINOS

Los algoritmos de localización del mejor camino (*path finding*) están basados en grafos, que son un conjunto de vértices con bordes conectados unos entre sí. Para determinar el mejor camino entre dos puntos dos algoritmos pueden ser tentados: El algoritmo de Dijkstra e o *Breath First Search (BFS)*.

El algoritmo Dijkstra trabaja analizando cada vértice del grafo comenzando en el punto inicial. Él siempre encontrará el mejor camino sin embargo su tiempo de procesamiento será muy grande. El algoritmo BFS trabaja de forma similar, sin embargo, introduce alguna heurística estimando cuando él está próximo del objetivo. El BFS no garantiza que se encontrara el menor camino, mas su tiempo de procesamiento será mucho menor que el Dijkstra. En el caso que se tenga obstáculos el BFS puede ser una mala elección, ya que insistirá en la dirección del obstáculo y tratará de contornear el obstáculo pero demorará demasiado tiempo y quizás sea demasiado tarde.

En las siguientes figuras [Patel 2003] se muestran los dos algoritmos tentando localizar o destino con y sin obstáculos. Podemos notar que cuando no tenemos obstáculos o BFS es mucho mejor que Dijkstra, por lo contrario cuando tenemos obstáculos Dijkstra tomara mucho mas tiempo en encontrar la mejor alternativa. Pero siempre él la encontrara.

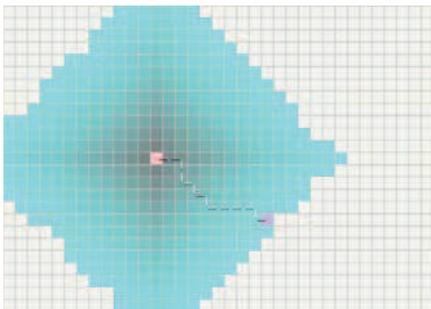


Figura 2 – Dijkstra sin obstáculo

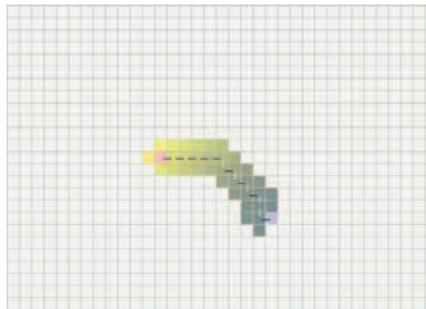


Figura 3 – BFS sin obstáculo

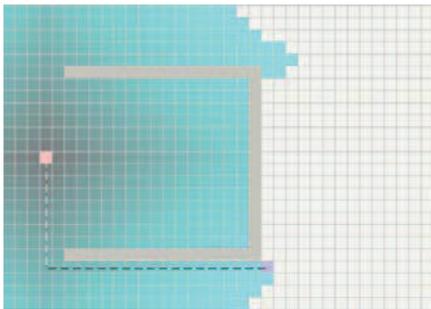


Figura 4 – Dijkstra sin obstáculo

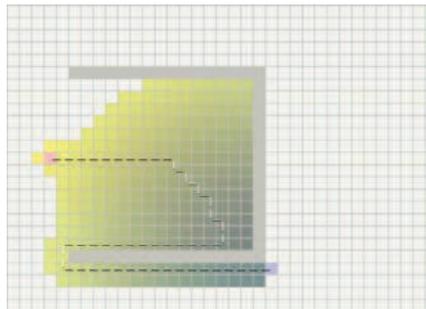


Figura 3 – BFS con obstáculo

La A* es muy similar a lo método Dijkstra, excepto pelo uso de una heurística que no solamente buscará lo costo de inicio até o nodo actual, pero también hace una estimativa del objetivo hasta el nodo actual. Algoritmos genéticos poden ser usados en investigaciones del mejor camino. Ellos no resolverá el problema in tiempo real, como se gustaría, pero definitivamente responderá de una manera mas natural que los algoritmos anteriores [LeMothe 2002].

Los algoritmos presentados anteriormente, necesitan de un considerable poder de procesamiento, que no es disponible en los pequeños nanorobots. Estas técnicas podrían ser utilizadas apenas cuando estuvieran disponibles nanocomputadores para realizar estas tareas. Mientras métodos como intento y error, trazado del contorno y evitar colisión poden ser usados sin necesidad de grande procesamiento de datos. Con pocos recursos computacionales se puede localizar el camino deseado, mismo que no sea el mas optimizado, pero es conseguido a un costo relativamente bajo.

7. MÉDICOS O ARMAS INVISIBLES

A nanotecnología es un excitante y nuevo campo que viene derramando una nueva luz en el mundo a nuestro alrededor, proporcionando nuevas oportunidades para proyectar y desarrollar dispositivos con capacidades sin precedencia[Ferreira 2005].

El desenvolvimiento mas interesante en esta área son los nano médicos, pequeños robots construidos para curar enfermedades a nivel celular, donde un conjunto de estos dispositivos podrían atacar y destruir células defectuosas sin afectar las células saludables.

Enfermedades con tratamientos complejos y dolorosos hoy en día como el Cáncer y el SIDA serian mas fácilmente tratados cuando se pueda atacar directamente a las células de la enfermedad con pocas secuelas para las células saludables. Esta es la esperanza de muchos enfermos hoy, de ver estos dispositivos funcionando, a pesar que las previsiones no son muy optimistas para estas personas, que difícilmente sobrevivirán hasta la maduración de esta tecnología.

Otra faceta de este escenario es el caso de la guerra biológica. En el pasado fueron desarrolladas varias bacterias que podrían aniquilar toda la raza humana en semanas. Por ejemplo Rusia posee una cantidad de *Ántrax* suficiente para matar toda la población humana unas cuatro veces [Lucier 2001].

Esta cantidad de armas biológicas, de bacterias y virus almacenados en laboratorios de investigación podrían caer en mano de terroristas que utilizarían para ocasionar calamidades de proporciones mundiales.

Este escenario aterrador puede aun empeorar si estas bacterias fueran nano-robots, que pueden ser programados esto permitiría ser creadas armas invisibles que serian enviadas para destruir directamente blancos pre-seleccionados. A diferencia de las armas biológicas actuales que atacan indiscriminadamente a todos los que tenga contacto con ellas, los nano-robots podrían ser programados para atacar apenas en determinados lugares o personas.

Tecnologías como GPRS, RFID que hoy identifican y localizan objetos, podrían ser usados para localizar blancos humanos. Poderosos sistemas de comunicación distribuida están siendo construidos alrededor del mundo para facilitar la vida de las personas, las señales de estos mismos dispositivos pueden ser usados para orientar nano-asesinos a atacar a sus víctimas.

Esta cuestión es poco discutido, se dice que un nano-robot así como cualquier otra maquina, solo puede hacer aquello para lo que fue programado, si fuera así construidos solo para fines pacíficos no se tendría que temer en este aspecto. Infelizmente esto no es verdad, pues una persona apenas podría construir nanorobots con fines de destruir la vida, causando daños incalculables.

Un problema semejante sucedió con los programas de computadores, que por medió de juegos de adolescentes inconsecuentes, causaron enormes prejuicios para las empresas y gobiernos en varias partes del mundo.

Felizmente de la misma forma después del prejuicio inicial, fueron creados mecanismos de defensa, como *anti-virus*, *firewall*, *snorts*, etc. Que tornan hoy los prejuicios causados actualmente por estas plagas electrónicas no serán tan grandes y devastadoras.

8. CONCLUSIÓN

Como el desarrollo para las plagas electrónicas, los mecanismos de defensa necesitan ser creados para defender la especie humana de su propia creación. La dificultad de encontrar los nanorobots crean la necesidad de una nueva área de pesquisa, que localizarían éstos oponentes e tentarían que combatir con ellos y eliminarlos. Otro aspecto preocupante es las grandes promesas de los investigadores de la nanorobótica, que difícilmente serian cumplidas en un curto espacio de tiempo, lo que ocasionarían expectativas frustradas y desanimo de los inversionistas, pudiendo atrasar más significativamente las investigaciones. Fenómeno semejante acontece en el área de la Inteligencia Artificial, que después de tentar de resolver grandes problemas frustrados, conseguirán éxito buscando resolviendo problemas más simples [Ferreira 2003].

El estudio de algoritmos de búsqueda más inteligentes necesitan de un gran poder de procesamiento, que solamente es posible con la creación de nanocomputadores. Métodos de transmisión de datos entre los elementos de una colonia precisan ser mejorados para asi obtener los resultados deseados. La creación de armas invisibles es una posibilidad real y no puede ser ignorada por los investigadores del área. Mecanismos de defensa precisan ser desarrollados.

9. REFERENCES

- Clarín, Diario (2004) *Los nanorobos hacen que la nasa sueñe con una misión tripulada a marte para 2020*, <http://weblog.mendoza.edu.ar/robotica/archive/000504.html>
- Ferreira A., Sharma G. and Mavroidis C. (2005) “New trends in bio-nanorobotics using virtual reality technologies” Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (IEEE ROBIO 2005) Hong Kong SAR and Macau SAR, China
- LeMothe, A. (2002) *Tricks of the Windows Game Programming Gurus*. Sams Publishing, 2ª Ed.
- Lucier, J.P. (2001) *The Danger of Biological War*, http://www.restoringamerica.org/archive/war/bio_danger.html
- Marcelo Knobel, Gerardo F Yoga (2004); “Ferramentas magnéticas na escala do átomo” Scientific American Brasil Dezembro 2004
http://www.usp.br/prp/nanotecnologia/index_arquivos/secundarias/opinioes/nanotec%20Osciam.pdf
- Mavroidis, C. and Ummant A. (2005) *Space Bionanorobotics Systems: Design and Applications*” Proceedings of the 7th NASA/DoD Conference on Evolvable Hardware(EH-2005) Washington DC.
- Nanorobótica Medicinal (2004) Notícias, bioengenharia, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2004, http://www.cimm.com.br/construtordepaginas/hm/3_20_4024.htm
- Nof, S. Y. (1999) *Handbook of Industrial Robotics*. John Wiley & Sons, 2ª Ed.
- Patel, A. J. (2003) *Amit’s Througs on Path-Finding and A-Star*, <http://theory.stanford.edu/~amitp/GameProgramming/>
- Russel y Norvig (1995) “Artificial Intelligence: A Modern Approach”, Prentice Hall.
- Silva, L. R. (2003) “*Análise e Programação de Robos Móviles Autônomos da Plataforma EyeBot*”, Dissertação de Mestrado - Universidade de Santa Catarina.
- Ummat A, Dubey A., Sharma G., Mavroidis C., (2005) “Chapter 19: Bio-Nano-Robotics: State of Art and Future Challenges”. Ed. M.L. Yarmush, CRC Press,
- J. H. Makaliwe and A. A. G. Requicha .,(2005) “Automatic Planning of Nanoparticle Assembly Tasks” Laboratory for Molecular Robotics, University of Southern California
- “Nanorobotics Control Design: A Practical Approach Tutorial”, Society of Manufacturing Engineers, 4th Quarter 2005 Volume 18 No. 4 www.sme.org/ama
- B.J. Nelson, L.X. Dong, A. Subramanian, and D.J. Bell., “Hybrid Nanorobotic Approaches to NEMS” Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zürich
- Metin Sitti., (Junio 2003) “NSF Nanoscale SDC Workshop” NanoRobotics Laboratory Nanorobotic Manipulation and Manufacturing
- A. Cavalcanti1, L. Rosen, L. C. Kretly, (2004) “Nanorobotic Challenges in Biomedical Applications, Design And control” IEEE ICECS Int’l Conf. on Electronics, Circuits and Systems Tel-Aviv, Israel
- C. Mavroidis, “Protein based nano Machines for space Applications” Department of Mechanical and Aerospace Engineering
- A. Ferreira, G. Sharma, C. Mavroidis. (2005) “New Trends in Bio-Nanorobotics using Virtual Reality Technologies” Laboratoire Vision et Robotique, University of Orléans, Bio-Nano Robotics Laboratory, Northeastern University, Boston, Proceedings of the 2005 IEEE
- T. H. LaBean, Hao Yan, Sung Ha Park., “Overview of New Structures for DNA-Based Nanofabrication and Computation” Computer Science, Duke University, Durham, NC