

Bacteria Agent Colony inside an Ad-Hoc Network

Comunidad de Agentes Bacterianos en una Red Ad-Hoc

Jorge Ernesto Parra Amaris
Grupo de Investigación Tlön
Universidad Nacional de Colombia
Bogotá, Colombia
Email: joeparraam@unal.edu.co

Angela Consuelo Checa Hurtado
Grupo de Investigación Tlön
Universidad Nacional de Colombia
Bogotá, Colombia
Email: acchecah@unal.edu.co

Jorge Eduardo Ortiz Triviño
Profesor Asociado
Universidad Nacional de Colombia
Bogotá, Colombia
Email: jeortizt@unal.edu.co

Resumen—In this paper, the similarities between the multi-agent systems, ad-hoc networks and bacterial colonies, are analyzed, especially the common patterns and behaviors that emerge while studying the interaction of each element from these systems during the formation of the community. The *Quorum Sensing*, which is a bacteria collective behavior, that allows them to regulate their group actions, is proposed to be adopted as mechanism for agent communication inside an ad-hoc network. The three systems involved are reviewed and a bio-inspired algorithm is suggested to solve some of the issues regarding the dynamic of the ad-hoc networks and the communication between agents interacting in the network, in a way resembling to a bacterial colony. This proposal is the starting point for the development of an algorithm for cooperation within an Ad-Hoc network.

Resumen—En este artículo se analiza las semejanzas que existen entre los sistemas multi-agente, las redes de comunicaciones ad hoc y los sistemas basados en colonias de bacterias, especialmente aquellos comportamientos y patrones semejantes que surgen cuando se estudia la interacción de cada uno de los elementos de estos sistemas al conformar una comunidad. Se propone adoptar el *Quorum Sensing*, que es una de las conductas colectivas de las colonias de bacterias, responsable de regular su comportamiento grupal, en el mecanismo de comunicación de los agentes en las redes ad-hoc. Se describen cada uno de los sistemas involucrados y se propone un algoritmo bioinspirado para solucionar algunos de los problemas asociados a la dinámica de las redes ad-hoc y la comunicación entre agentes, con el objetivo de estimular la cooperación y la coordinación de los elementos de la red de manera similar a como se realizaría en una colonia de bacterias. Esta propuesta es el punto de partida en el diseño de un algoritmo cooperativista en las redes ad-hoc.

I. INTRODUCCION

Las redes ad-hoc son conformadas por dispositivos móviles inalámbricos, capaces de auto configurarse, con el objetivo de establecer servicios de telecomunicaciones sin la necesidad de una infraestructura física disponible [1]. Este tipo de funcionamiento requiere que cada nodo (dispositivo) tenga un comportamiento dual cómo router y host; además de un control descentralizado, de esta forma la red en conjunto puede ser vista como una comunidad y los nodos que la conforman como miembros que cooperan entre sí.

Los sistemas multi agente [2] permiten resolver problemas gracias los mecanismos de interacción; que ya han sido empleados en redes ad-hoc, dotando a los agentes de conductas similares a las empleadas por insectos tales como las hormigas [3], las abejas [4] y las termitas [5]; para estos casos se ha buscado que los agentes solucionen problemas de la red porque actúan como organismos que se adaptan a los cambios y son altamente escalables. Esta clase de comportamiento también se puede encontrar en las bacterias, estas conforman colonias y gracias a la cooperación pueden sobrevivir; poseen un mecanismo de comunicación conocido como el *Quorum Sensing* [6], que les permite regular su comportamiento conjunto. Esta forma de comunicación podría ser aplicada en un sistema de agentes, esto les permitiría llegar a un consenso para la toma de decisiones sobre la gestión de los procesos y servicios de la red.

El objetivo principal de este artículo es mostrar cómo una red ad-hoc, junto con un sistema de agentes puede analizarse realizando la analogía con una colonia de bacterias que mediante la comunicación, coordinación y cooperación logra un fin común. El artículo esta organizado de la siguiente forma: la sección 2 explica los conceptos, características y problemas de las redes ad-hoc, la sección 3 expone cómo se da la cooperación en la naturaleza y cuáles son sus semejanzas con las redes ad-hoc; la sección 4 trata sobre los sistemas de agentes y su interacción con el entorno; en la sección 5 se presenta el concepto de *Quorum Sensing* y las ventajas de una posible implementación en un sistema de agentes, la sección 6 enuncia la propuesta de un algoritmo bio-inspirado en el *Quorum Sensing* y por último en la sección 7 se presentan las conclusiones.

II. REDES AD-HOC

Las redes ad-hoc (MANETS's, mobile ad-hoc networks, por sus siglas en inglés) son redes conformadas por dispositivos móviles inalámbricos que permiten establecer comunicación donde no hay una infraestructura física fija previamente implementada o donde la infraestructura disponible no es la adecuada. Las principales características de las MANETS son la capacidad de auto configurarse y auto recuperarse ante una falla de la red, no tienen un control centralizado y su topología es dinámica, cambia constantemente; cada nodo (dispositivo)

depende de los demás para el reenvío de la información [7]. Los enlaces entre nodos son de naturaleza temporal y sus nodos son móviles. Por esta razón, las conexiones son dinámicas y el movimiento de los nodos crea una inestabilidad que genera una serie de problemas para mantener la comunicación en la red. Son redes escalables, no obstante, a medida que aumenta el tamaño de una red, ésta debe ser capaz de asegurar un determinado nivel en la calidad del servicio. Como los nodos no cuentan con un suministro de energía constante, es necesario que cada nodo haga uso eficiente de su energía disponible. Al ser redes conformadas por múltiples nodos dependientes de otros nodos, con los que comparte acceso al medio inalámbrico para el envío de información, la seguridad es un punto crítico, ya que la integridad de la red puede ser fácilmente vulnerada.

III. COOPERACIÓN EN LAS REDES AD-HOC

Debido a las características de las MANETS, se espera que cada nodo de la red coopere para compensar la ausencia de un control centralizado. Cada nodo tiene restricciones de hardware y cooperar implica que debe emplear sus recursos para ayudar al funcionamiento global de la red, originando gastos de procesamiento y de energía. Por lo tanto, cooperar no implica un beneficio directo al nodo. Surgen por ello “comportamientos egoístas”, en donde un nodo egoísta solo cooperará con la red únicamente cuando sea beneficiado directamente. Por otra parte, un nodo “egoísta” espera que los demás nodos cooperen con él para beneficiarse sin gastar recursos [8] .

La cooperación es un comportamiento que emerge en la naturaleza, gracias a ella, muchos microorganismos, animales e insectos han podido asegurar su supervivencia. Incluso los seres humanos han progresado gracias a la cooperación [9]. Al analizar la forma en la que se da la cooperación entre los seres vivos, se pueden hacer varias analogías entre los posibles mecanismos de cooperación en las redes ad-hoc y la naturaleza. Por ejemplo, tanto en la naturaleza como en las MANET's surgen comportamientos “egoístas”. Los individuos (nodos) simplemente no cooperan con su comunidad o lo hacen de forma mínima. No obstante, se benefician gracias a la cooperación de los demás miembros [9].

Por medio de la cooperación, los individuos de un grupo se pueden beneficiar de 2 formas: directa o indirectamente [9]. El beneficio indirecto es aquel que se obtiene al ayudar a otros a costa de emplear los recursos propios. Esta clase de comportamiento se denomina altruismo. Los nodos que conforman una red ad-hoc deberían ser diseñados para tener un “comportamiento altruista”. Otra forma de obtener beneficios indirectos es mediante la cooperación con aquellos con los que se tiene alguna relación de parentesco. Así, aumentando el nivel de parentesco entre los individuos se puede aumentar su interacción. Este comportamiento también se desea en las redes ad-hoc, y se da a través de mecanismos de reputación, en los cuales los nodos que cooperan aumentan progresivamente su reputación y ésta disminuye en aquellos que no cooperan como lo expresan los autores en [10]. En el caso del beneficio directo, hay cooperación mutua; y como resultado de las decisiones individuales se genera un comportamiento cooperativo global en la comunidad. Los individuos cooperan de forma desinteresada cuando persiguen un fin común. En las redes ad-hoc los nodos tienen como fin común mantener la comunicación a pesar de

los cambios. Y así como en la naturaleza existen mecanismos para incentivar la cooperación y penalizar comportamientos egoístas, en una MANET para incentivar la cooperación, varios autores han propuesto sistemas de recompensa para aquellos nodos que cooperen y penalización para aquellos que muestren comportamientos egoístas. Proponen por ejemplo en [11] un sistema de pagos para aquellos nodos que cooperen con la red, lo cual les permite en determinado momento privilegios para acceder a sus servicios.

La cooperación trae beneficios, por esta razón es importante observar y estudiar los modelos de cooperación de la naturaleza como una alternativa viable para el diseño de algoritmos para las redes ad-hoc, que al ser sistemas autónomos distribuidos, comparten muchas características con colonias de seres vivos.

IV. AGENTES Y SU AMBIENTE

Un agente es una entidad capaz de percibir su ambiente con la ayuda de sensores y actuar en ese medio utilizando actuadores o efectores [12]. En los ecosistemas de la naturaleza existen agentes, que mediante una interacción mutua logran un objetivo común. De forma semejante, en ambientes computacionales también existen agentes que se definen como entidades autónomas y cuyas acciones dependen de la retroalimentación con el entorno [2]. El entorno o ambiente suministra las condiciones necesarias para que los agentes existan. Es además un medio externo e independiente con el cual los agentes interactúan y en el que se desenvuelven.

La comunicación entre agentes facilita las operaciones de intercambio de información para coordinarse entre sí. De esta forma, un agente recibe información suficiente de su entorno y de los demás agentes, permitiendo que su respuesta sea de forma autónoma. El entorno también funciona como un medio de comunicación, ya que los agentes pueden dejar señales en el ambiente, que pueden ser interpretadas por otros, de forma similar a los mecanismos que usan algunos insectos por medio de feromonas.

El número de agentes en cualquier red de comunicaciones puede ser diferente al número de nodos que la conforman. Los agentes, en los ambientes de redes presentan inconvenientes de escalabilidad al incrementar su número, esto ha hecho que los investigadores busquen en la naturaleza patrones de comportamiento que puedan aplicar a los sistemas de múltiples agentes. Un sistema multi agente (Multi-Agent System, MAS) es un conjunto de agentes que interactúan para resolver problemas que están por encima de sus capacidades y conocimiento individual.

V. AGENTES BACTERIANOS EN UNA RED AD-HOC

Las bacterias son organismos unicelulares que se organizan en colonias para sobrevivir. Cuentan con un mecanismo de comunicación conocido como la percepción del quórum (*Quorum Sensing QS*), que les permite a las bacterias llegar a un consenso por medio de la secreción y detección de señales químicas, y de esta forma realizan acciones conjuntas tales como producir luz, motilidad y formación de bio-películas. Las bio-películas son estructuras tridimensionales donde habitan bacterias, con roles específicos [6]; al hacer la analogía con una red ad-hoc, la bio-película sería la red, y las bacterias serían los

agentes que interactúan en la red. Un agente bacteriano en una red ad-hoc se podría concebir como un software dotado con las mismas habilidades de las bacterias que, al interactuar con más agentes bacterianos, conformen una colonia en donde la comunicación se realice mediante un mecanismo bio-inspirado en el QS.

Existen algunas colonias de bacterias que pueden considerarse altruistas. En colonias de *Mycococcus Xanthus*, por ejemplo, cuando los nutrientes comienzan a escasear, la colonia forma una estructura en la cual gran parte de la población es sacrificada [13]. Sin embargo, en las colonias de bacterias también se encuentran organismos “egoístas” [14], que contribuyen de forma mínima con los objetivos de la colonia, pero buscan sacar provecho del trabajo realizado por otros. No obstante, si en una colonia bacteriana aumenta la cantidad de miembros egoístas, la comunidad podría llegar a su fin.

El *Quorum Sensing* podría ser una buena herramienta para replicar en sistemas de agentes en redes ad-hoc, porque de forma análoga las bacterias se comunican mutuamente por medio de señales químicas que sirven de retroalimentación entre el medio y entre bacterias, y estas serían las estrategias de comunicación y coordinación que se requieren en un MAS sobre una MANET.

El *Quorum Sensing* depende de la densidad poblacional para realizar una acción conjunta. Es decir, no es necesario que estrictamente todas las bacterias perciban la señal química (mensaje) para la regulación de fenotipos, solo basta con que la señal llegue a un determinado grupo con miembros suficientes (al quorum), de manera semejante en un MAS, los agentes no poseen toda la información de la red en un momento específico. No obstante, si la mayoría ha llegado a un consenso sobre una acción, “existe quórum”, y se podría optimizar la cantidad de mensajes fluctuando en la red.

La comunicación es el primer paso hacia la cooperación, por medio de una señal, o en el caso del QS, con la secreción de una sustancia química se empieza el proceso; el segundo paso es la coordinación, debido a que los agentes cuentan con información parcial sobre el entorno, es en esta fase en donde se realiza el intercambio de información y se da un proceso de negociación entre las partes, en el QS esta fase se da cuando las bacterias detectan una señal química y de acuerdo con esta empiezan a auto inducirse. El último paso, en este orden de ideas, es la cooperación en donde los agentes de acuerdo a su coordinación previa realizan una acción conjunta, para el caso de las bacterias, al alcanzar un umbral de autoinducción se empieza un proceso en cual se expresa un fenotipo asociado a la señal que lo causó. De acuerdo a lo expuesto anteriormente se pueden inferir lo siguiente: primero durante la comunicación se debe establecer un llamado, es decir una señal específica que pueda ser reconocida a nivel local, este llamado debe tener un fin previamente establecido y debe contener información general sobre lo que se quiere realizar; la segunda es el tipo de información que se debe intercambiar, ya que poca información puede impedir la negociación entre las partes y demasiada información puede introducir ruido e impedir el aprendizaje entre agentes. En base a lo expuesto se puede inferir que debe existir un punto medio entre la cantidad de información que se intercambie. En la figura 1 se muestra un diagrama que representa de manera resumida lo expuesto anteriormente.

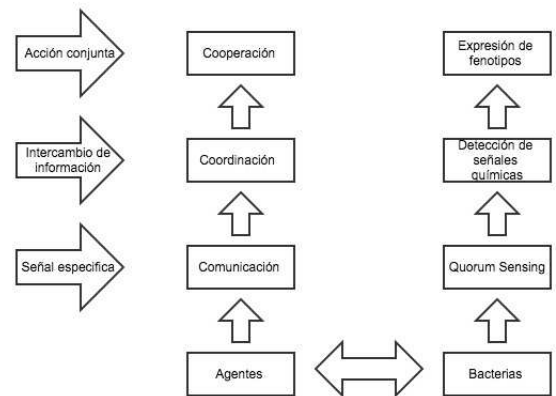


Figura 1: Relación Red ad-hoc-agente-bacteria

Varios autores como [15] han propuesto el QS como un patrón de comportamiento para sistemas multi agentes, para ser aplicado en sistemas de seguridad y [16] para emplear el QS como un mecanismo de seguridad durante el proceso de replicación de información en una red ad-hoc. Sin embargo, la implementación de algoritmos basados en QS aún es un área muy poco explorada en los algoritmos de MANETs.

VI. TRABAJO FUTURO

En la figura 2 se propone un algoritmo simple inspirado en *Quorum Sensing* para ser implementado en agentes que interactúan sobre una red ad-hoc, B.S.A.A (*Bacteria Simple Agent Algorithm*). El principal objetivo de este algoritmo es hacer que los agentes se desplacen dentro de la red, ejecuten el censado de su entorno, identifiquen una señal específica, lleguen a un consenso y ejecuten una acción en respuesta a dicha señal.

Los principales retos de esta investigación se centran en el manejo de mensajes multicast en la red, con un mecanismo multicast apropiado los mensajes llegarán solo a los agentes de interés, en el diseño del proceso de autoinducción del agente, es decir en el procesamiento de la información adquirida del entorno, para que después del censado, el agente pueda liberar una señal en el entorno y en consecuencia el tratamiento de dicha “señal de auto-inducción” también es un problema potencial de investigación, además del diseño del mecanismo de decisión para que cuando la señal alcance un umbral dentro del ambiente, se obtenga como resultado la ejecución una acción colectiva.

VII. CONCLUSION

La cooperación es un comportamiento clave que ha permitido evolucionar a los seres vivos. Las redes ad-hoc funcionan gracias a la cooperación de los nodos que la conforman. Sin embargo, al igual que en la naturaleza, es necesario estimular a los individuos (nodos) a cooperar. Se observa a los sistemas multi agentes como un área de desarrollo potencial que permite resolver problemas mediante la interacción mutua. Se buscan

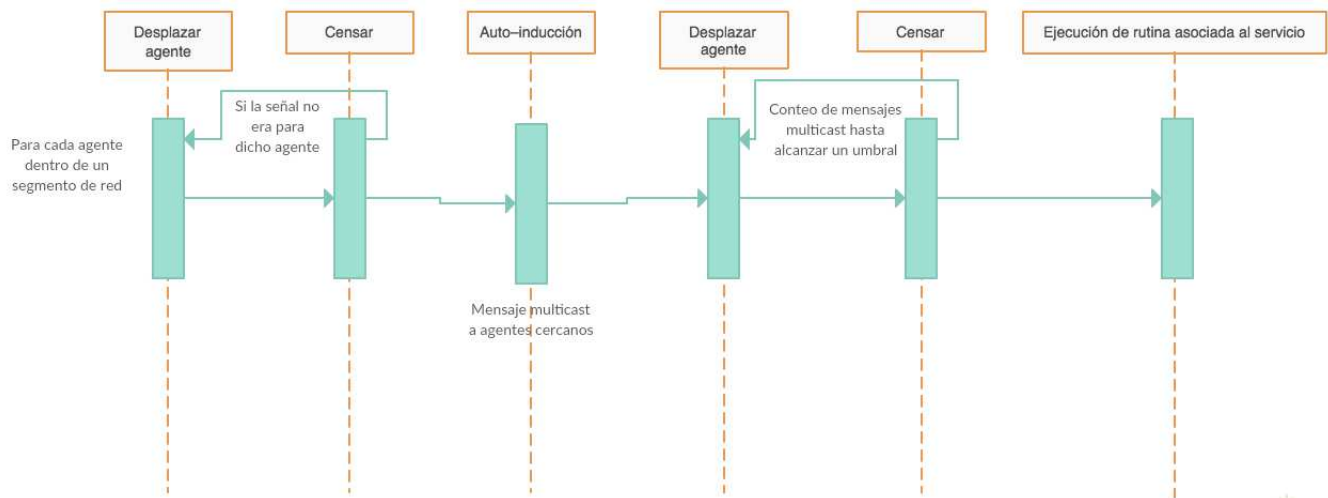


Figura 2: B.S.A.A Bacteria Simple Agent Algorithm

formas de dotar a los agentes autónomos con comportamientos bio inspirados para lograr una mayor adaptabilidad y escalabilidad sin perder su autonomía. Aplicado a agentes, el *Quorum Sensing*, un medio de comunicación empleado por bacterias, que permite regular su comportamiento grupal, proporcionaría un mecanismo de toma de decisiones para lograr un conceso acerca de la administración y el control de servicios que se encuentren disponibles en la red y además les ayudaría a los agentes a tomar roles específicos dentro de la red ad-hoc.

REFERENCIAS

- [1] P. Mohapatra and S. V. Krishnamurthy, *Ad hoc networks: Technologies and protocols*, 2005.
- [2] L. Panait and S. Luke, "Cooperative multi-agent learning: The state of the art," *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, vol. 11, no. 3, pp. 387–434, 2005.
- [3] J. A. P. Martins, S. L. O. B. Correia, J. Celestino, and U. Vale, "Ant-DYMO: A bio-inspired algorithm for MANETS," pp. 748–754, 2010.
- [4] H. F. Wedde and M. Farooq, "The wisdom of the hive applied to mobile ad-hoc networks," in *Proceedings - 2005 IEEE Swarm Intelligence Symposium, SIS 2005*, vol. 2005, 2005, pp. 351–358.
- [5] P. K. G. Hoolimath, M. Kiran, and G. R. M. Reddy, "Optimized Termite: A bio-inspired routing algorithm for MANET's," in *2012 International Conference on Signal Processing and Communications (SPCOM)*. IEEE, Jul. 2012, pp. 1–5. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6290230>
- [6] A. Jayaraman and T. K. Wood, "Bacterial quorum sensing: signals, circuits, and implications for biofilms and disease." *Annual review of biomedical engineering*, vol. 10, pp. 145–167, 2008.
- [7] R. Ramanathan and J. Redi, "A brief overview of ad hoc networks: challenges and directions," *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 5, pp. 20–22, May 2002. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1006968>
- [8] S. Misra, I. Woungang, and S. Chandra Misra, Eds., *Guide to Wireless Ad Hoc Networks*, ser. Computer Communications and Networks. London: Springer London, 2009. [Online]. Available: <http://link.springer.com/10.1007/978-1-84800-328-6>
- [9] S. A. West, A. S. Griffin, and A. Gardner, "Evolutionary Explanations for Cooperation," 2007.
- [10] Y. Rebahi, V. E. Mujica-V, and D. Sisalem, "A reputation-based trust mechanism for ad hoc networks," pp. 37–42, 2005. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1493704>
- [11] S. Zhong, J. Chen, and Y. Yang, "Sprite: a simple, cheat-proof, credit-based system for mobile ad-hoc networks," *IEEE INFOCOM 2003. Twenty-second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (IEEE Cat. No.03CH37428)*, vol. 3, 2003.
- [12] Stuart J. Russel; Peter Norvig, "Artificial Intelligence. A modern approach," *Perspectives in vascular surgery and endovascular therapy*, vol. 23, no. 2, pp. 90–7, 2011. [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22104479>
- [13] Y. H. Li and X. Tian, "Quorum sensing and bacterial social interactions in biofilms," pp. 2519–2538, 2012.
- [14] G. J. Velicer, "Social strife in the microbial world," pp. 330–337, 2003.
- [15] J. Hamar and R. Dove, "A quorum sensing pattern for multi-agent self-organizing security systems," in *Proceedings - International Carnahan Conference on Security Technology*, 2012, pp. 319–324.
- [16] E. Mannes, M. Nogueira, and A. Santos, "A bio-inspired scheme on quorum systems for reliable services data management in MANETS," in *Proceedings of the 2012 IEEE Network Operations and Management Symposium, NOMS 2012*, 2012, pp. 278–285.