



Optimización de la transmisión de datos en una red de routers mediante el algoritmo de la colonia de hormigas

José Emmanuel Cruz de la Cruz¹, Ferdinand Edgardo Pineda Ancoco², Luis Enrique Baca Wiesse³

¹Doctor en Ciencias de la Ingeniería Mecatrónica, Maestro en Ciencias de la Ingeniería Electrónica. Centro de Investigación en Microelectrónica-Región Puno, ²Magister en Telecomunicaciones, Ingeniero Electrónico. Centro de Investigación en Telecomunicaciones Rurales - Región Puno, ³Ingeniero Electrónico. Centro de Investigación en Telecomunicaciones - Región Puno; ¹Correspondencia: jecruz@yahoo.com

INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Art. Recibido 31/mayo/2015
Art. Aceptado 25/agosto/2015
online: 14/setiembre/2015

PALABRAS CLAVE:

- * Ant-net
- * enrutamiento
- * red de datos
- * varianza
- * métrica

ARTICLE INFO

Article Received 31/may/2015
Article Accepted 25/august/2015
online:14/setember/2015

KEY WORDS

- * Ant -net
- * routing
- * data network
- * variance metric

RESUMEN

En el trabajo de investigación se describió el diseño y la implementación de un protocolo de encaminamiento para una red de routers basado en el algoritmo de la hormiga para mejorar la transmisión en redes de datos. El algoritmo, surge como una alternativa a los estándares basados en números de saltos o en características propias del medio. Para ello se hizo el reconocimiento del mejor camino entre redes de routers, basándose en el principio de las redes autoorganizativas. Las mismas se basan en la denominada inteligencia de enjambres, que es el comportamiento de colonias de individuos. Como parte de este grupo se encuentran los algoritmos de optimización basados en colonia de hormigas (Ant Colony Optimization, ACO), las cuales encuentran la mejor ruta a partir de la exploración de casi todos los caminos; utilizando la estimergia (colaboración a través del medio físico), para recorrerlos y marcar los óptimos. El programa se implementó en **MatLab**, donde se realizaron pruebas con los distintos parámetros que considera el programa, hasta encontrar el óptimo. Este camino se implementó en una red de datos, enviando un archivo de prueba en formato comprimido de un servidor a cliente Linux. Se comprobó la eficiencia mediante la tasa de transferencia de datos, comparándolo con los protocolos RIP y OSPF. Como resultado se comprobó que el algoritmo implementado, brinda confiabilidad para la transmisión de datos en una red real y servirá de base para otras investigaciones en protocolos de capa de internet de las redes desplegadas en el mundo.

OPTIMIZATION DATA TRANSMISSION ON A NETWORK ROUTERS VIA THE ANT COLONY ALGORITHMS

ABSTRACT

Research in the design and implementation of a routing protocol for network routers based on ant algorithm to improve data transmission networks described. The algorithm is an alternative to standards based on number of jumps or characteristics of the medium. This was done for the recognition of the best path between networks of routers, based on the principle of self-organizing networks. They are based on the so-called swarm intelligence, that is the behavior of individual colonies. As part of this group are optimization algorithms based on ant colony (Ant Colony Optimization ACO), which find the best route from exploring almost all roads; using estimergia (collaboration across the physical medium) to go there and make optimal. The program was implemented in MatLab, where tests were performed with various parameters that considers the program to find the optimum. This road was implemented in a data network, sending a test file in compressed format a Linux server to client. Efficiency was checked by data transfer rate, compared with RIP and OSPF protocols. As a result it was found that the algorithm implemented, provides reliability for data transmission in a authentically network and serve as a basis for further research on ineternet layer protocols deployed networks in the world

INTRODUCCIÓN

La presencia de Internet en los países con aspiraciones es significativa. Aún más notable resulta su vertiginoso ritmo de crecimiento. Entre 2005 y 2010, el número de usuarios de Internet en los países con aspiraciones se incrementó alrededor de un 25% al año (de 319 millones a 974 millones de usuarios), aproximadamente el quintuplo de la tasa de crecimiento de los países desarrollados. El porcentaje de usuarios de internet en los países con aspiraciones ha aumentado en consecuencia del 33% en el 2006 al 52% en 2010 y en proyecciones al 61% hacia 2015. (Nottebohm *et al.*, 2012). La tasa de penetración de Internet en América Latina a enero del 2014 es de 47%, que es mayor al promedio mundial que es de 35%. Esta tasa solo es superada por regiones como: Asia, Europa y Norteamérica. (Kemp, 2014)

Así mismo Internet ha cambiado el mundo. El libre acceso a Internet ha revolucionado la forma en que los individuos se comunican y colaboran, los empresarios y las empresas hacen negocios, y los gobiernos y los ciudadanos interactúan. Al mismo tiempo, Internet estableció un modelo abierto revolucionario para su propio desarrollo y la forma de gobierno que abarca todas las partes interesadas. El desarrollo de Internet se basó fundamentalmente en establecer un proceso abierto. Fundamentalmente, Internet es una «red de redes», cuyo protocolos están diseñados para permitir que las redes puedan interoperar entre ellas. En un principio, estas redes representan diferentes comunidades académicas, gubernamentales y de investigación cuyos miembros cooperan para desarrollar estándares comunes y gestionar los recursos conjuntos. Más tarde, cuando se comercializó el Internet, los vendedores y los operadores se unieron al proceso de desarrollo de protocolo abierto y ayudaron a dar rienda suelta a la era sin precedentes de crecimiento e innovación (Internet Society, 2014).

Entre los problemas existentes en el ámbito de las redes de datos, se encuentra la necesidad de transmitir volúmenes considerables de los mismos entre usuarios definidos por ejemplo, el tráfico que genera una videoconferencia, el cual es un problema de enrutamiento multicast que ha sido completamente definido como un problema NP-completo (Hwa-Chun, 1998). Otro problema que se plantea en el ámbito de las redes es como los routers manejan este tipo de tráfico, si bien existen protocolos establecidos, estos no cubren las expectativas de los usuarios (Yan, 2004). De acuerdo a las proyecciones estadísticas en poco tiempo la mayor cantidad de usuarios de internet estará en la posibilidad de realizar videoconferencias con los limitados recursos que tienen a su alcance, por lo que las redes actuales pronto estarán saturadas de tráfico, causando incomodidad a los usuarios.

El presente trabajo de investigación se ejecutó para proporcionar un algoritmo alternativo para el enrutamiento de datos y tuvo como objetivo realizar un estudio para determinar si es posible implementar el algoritmo AntNet para la elección del mejor camino para el enrutamiento de datos en una red definida.

Para la comprobación se utilizaron dos protocolos ya definidos: RIP v2 y OSPF. Ambos protocolos de enrutamiento que utilizan como algoritmo: vector de distancia y estado de enlace respectivamente, generan una tabla de enrutamiento de tamaño $O(n^2)$, donde n es el número de identificadores de destino, lo que proporciona escalabilidad única limitada para redes grandes cuando n es alto (Cheng-Jia, 2006). Lo que no sucede con la tabla proporcionada por el Algoritmo de la Hormiga. Por último en el presente trabajo de investigación se llegó a la conclusión de

que el algoritmo AntNet es una herramienta útil para el desarrollo de algoritmos para el encaminamiento en una red de datos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Hardware:

• PC de escritorio (Laptop Lenovo Y560)

- o Modelo : Lenovo Win7 Pc
- o Procesador : Intel® Core™ i5 CPU M560 @ 267Ghz
- o Memoria Instalada (RAM) : 4.00 GB (3.80GB utilizable)
- o Tipo de Sistema : Sistema Operativo de 64 bits Windows 7 Home Premium

• Servidor: DELL Power Edge R620

- o Procesador: Intel® Xeon® E5-2640, 2.50GHz, 15M Cache, 7.2GT/s QPI, Turbo, 6C, 95W, DDR3-1333MHz
- o Memoria RAM: 768 GB RDIMM, 1600 MHz, Low Volt, Single Rank, x4 Data Width
- o Ranuras de memoria: 24
- o Tipo de memoria interna: DDR3
- o Disco Duro: 146GB, SAS 6Gbps, 2.5in, 15K RPM Hard Drive (Hot-Plug)
- o Red:
 - 1 GbE BASE-T de cuatro puertos Broadcom
 - 1 GbE BASE-T de cuatro puertos Intel
 - 1 GbE BASE-T de dos puertos Intel + dos 1 GbE
- o Fuente de alimentación: Fuente de alimentación redundante de 750 vatios, de conexión en marcha y eficiencia Titanium
- o Sistema Operativo: Linux

• Routers: Cisco 2800

- o Cisco IOS Software, 2800 Software Version 15.1(4)M6
- o ROM: System Bootstrap, Version 12.4(13r)T
- o Cisco 2811 with 446464K/77824K bytes of memory.
- o Processor board ID FHK1117F2Y4
- o 2 FastEthernet interfaces
- o 2 Low-speed serial(sync/async) interfaces
- o 1 Virtual Private Network (VPN) Module
- o DRAM configuration is 64 bits wide with parity enabled.
- o 239K bytes of non-volatile configuration memory.
- o 125184K bytes of ATA CompactFlash (Read/Write)

Software:

- Sistema Operativo de 64 bits Windows 7 Home Premium
- Sistema Operativo Linux: Ubuntu Server 14.04.1 LTS
- VirtualBox 4.3.20
- Herramienta de análisis de tráfico Argus v 3.0.0.0
- Software de simulación de redes: Packet Tracer V 6.1.
- MATLAB R2010a Versión 7.10.0.499 32 bits (win32)
- Microsoft Excel Versión: 2010 14.0.7128.5000 (64 bits)

Tipo de estudio

La presente investigación es de tipo aplicada, pues consiste en el empleo práctico del conocimiento o teorías de inteligencia de enjambres: algoritmo de la hormiga y las redes de routers con la finalidad de mejorar y resolver el problema concreto de la velocidad de transmisión de datos en las redes actuales. Así también es diacrónica, pues se investiga problemas en una sucesión de momentos temporales a fin de conocer la evolución del comportamiento del problema en un período

dado, que permita hacer inferencias, respecto al cambio y sus consecuencias (Tafur 1995).

Población

Debido a que la población es pequeña, un paquete de datos comprimido, el cual es enviado por diez veces consecutivas en la red experimental y en las dos redes de comprobación, se ha considerado todo el universo, en consecuencia se toma a toda la población

Instrumentos de recolección de datos

A) Técnicas

La observación: es una técnica de recopilación de datos semi – primaria por la cual el investigador actúa sobre los hechos a veces con la ayuda de algunos instrumentos.

B) Instrumentos

Los instrumentos son: Guía de observación de campo: pasos que adopta el investigador a fin de hacer una buena estrategia para observar los hechos.

Técnicas de procesamiento y análisis estadístico

Plan de Recolección de Datos

Se siguieron los siguientes pasos para la recolección de datos:

- A) Se armó la topología de prueba con equipos reales en el laboratorio CISCO.
- B) Se realizó la programación en Matlab, para que el algoritmo de la hormiga determine el mejor camino en la topología dada.
- C) Se escogió un archivo comprimido para la realización de las pruebas necesarias.
- D) Se realizó las pruebas necesarias: primero con la ruta determinada por el algoritmo de la hormiga(grupo de prueba) y posteriormente con los protocolos de enrutamiento RIP y OSPF(grupo de control).

Plan de Procesamiento de Datos

Los datos de campo obtenidos en referencia a la determinación del tiempo de llegada y tasa de transferencia de bits en los tres casos en la topología dada, van a ser analizados e interpretados a través de las herramientas informáticas adecuadas (ANOVA): programa de análisis estadístico.

Contrastación de la Prueba de la Hipótesis

Se debe realizar la validación de las pruebas estadísticas, utilizando el método de análisis de la varianza (ANOVA) para estudiar si existe relación entre una variable cuantitativa, la variable respuesta, y una variable cualitativa (o cuantitativa discreta) llamada variable factor. Para alcanzar su objetivo, descomponemos la variabilidad observada en los datos en variabilidades debidas a distintas causas y las comparamos.

RESULTADOS

Para la realización del programa en Matlab se utilizó el siguiente diagrama de flujo:

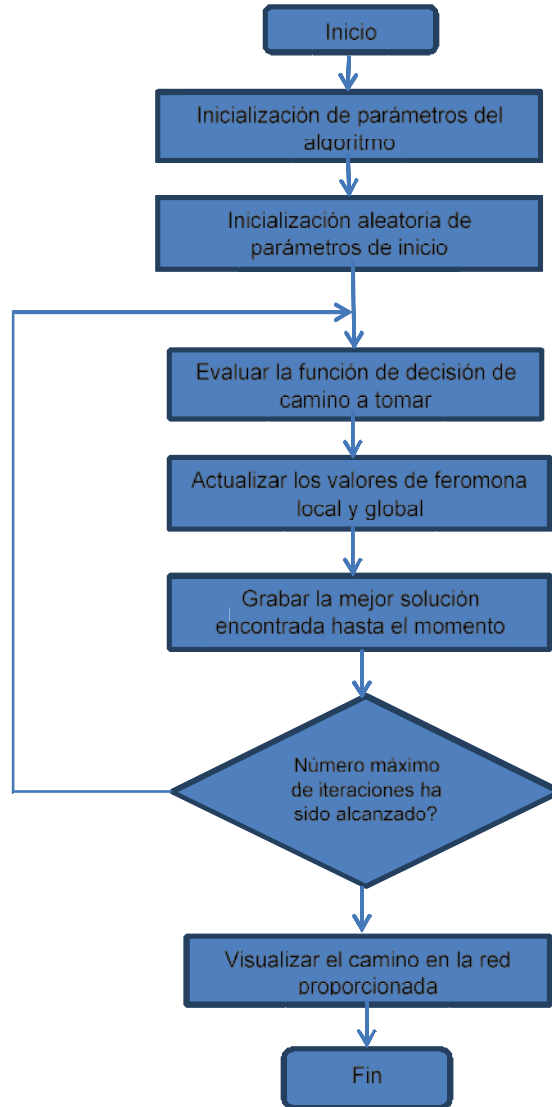


Figura N° 1 Diagrama de flujo del programa

Los resultados obtenidos con los parámetros adecuados se muestran a continuación:

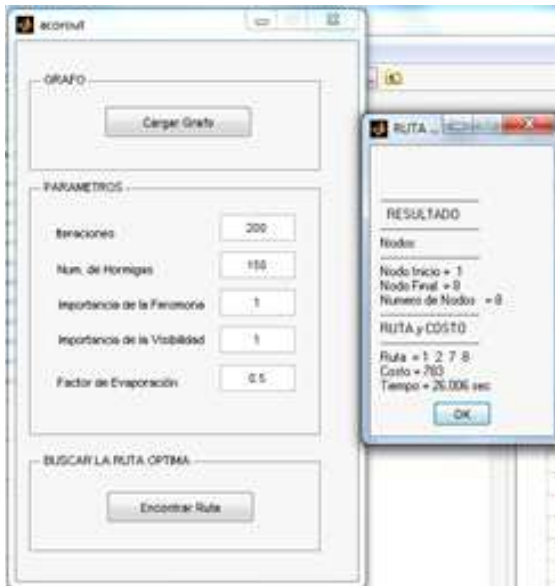


Figura N° 2 Resultados obtenidos escenario A

Los parámetros aplicados al programa en Matlab para la determinación del mejor camino en este escenario fueron: el número de iteraciones 200; las cuales fueron recorridas por 150 hormigas, dando igual importancia al parámetro de feromona y visibilidad (en ambos casos igual a 1). Por último se aplicó un factor de evaporación de 0.5

Para el segundo escenario, donde se interrumpe el enlace FastEthernet entre R1 y R2, obtenemos el siguiente resultado:

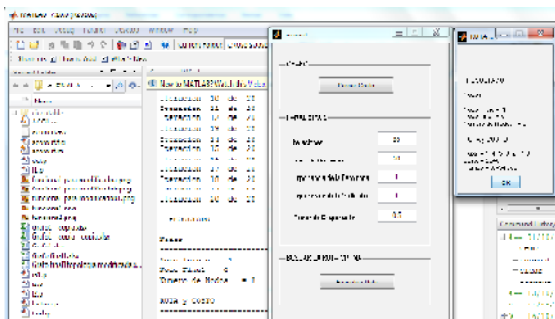


Figura N° 3 Resultados obtenidos escenario B

Dela misma forma los parámetros aplicados al programa en Matlab para la determinación del mejor camino en el segundo escenario fueron: el número de iteraciones 20; las cuales fueron recorridas por 20 hormigas, dando igual importancia al parámetro de feromona y visibilidad (en ambos casos igual a 1). Por último se aplicó un factor de evaporación de 0.5

Aplicación del resultado obtenido por el Algoritmo de la Hormiga en la Red de Pruebas:

A) MODELO DE REDES UTILIZADO

Para la presente investigación se utilizará el siguiente modelo de red, que representa 8 nodos conectados con enlaces tipo Ethernet (100MB/s) y tipo serial (128KB/s) en la forma de diagrama topológico:

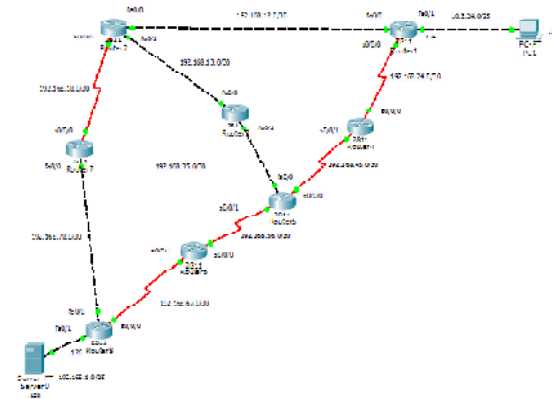


Figura N° 4 Diagrama topológico de la red

B) CONDICIONES A TENER EN CUENTA:

Para la validación se partirán de las siguientes pautas:

b.1. Se enviará un archivo comprimido de 1.85 MB el cual se enviará por diez veces consecutivas en los siguientes escenarios:

Escenario A:

Donde toda la red funciona correctamente, se envía para cada uno de los siguientes protocolos:

- RIP V2
- OSPF
- Algoritmo de la Hormiga.

Escenario B:

Se inhabilita el enlace FastEthernet entre R1 y R2. Para ello cada protocolo calcula la nueva ruta y nuevamente se envía el paquete de prueba y se toman los nuevos valores obtenidos para:

- RIP V2
- OSPF
- Algoritmo de la Hormiga.

b.2. Para la medida de los datos se utilizará un cliente y un servidor Linux funcionando con la herramienta de auditoría de tráfico de red: Argus. Se trata de una serie de herramientas para el análisis del tráfico de red en forma cliente-servidor, basado en un único flujo para ambas direcciones de una conexión.

OPTIMIZACIÓN DE LA TRANSMISIÓN DE DATOS EN UNA RED DE ROUTERS MEDIANTE EL ALGORITMO DE LA COLONIA DE HORMIGAS

El archivo que se genera tiene extensión *.arg. Para la obtención de dicho archivo utilizaremos el comando:

En el Server:

```
##argus-server###  
sudo argus -P 561 -d
```

En el Cliente:

```
###argus-client###  
sudo ra -Lo -S 192.168.1.98:561  
sudo ra -Lo -S 192.168.1.98:561 -w argus-prueba3.arg
```

Luego obtenemos los parámetros que necesitamos con el comando:
sudo ra -Lo -s starttime lasttime dur proto saddr daddr bytes load -r argus-prueba3.arg | less

C) DESARROLLO:

C.1. ESCENARIO A: Todos los enlaces funcionan correctamente.

RIP V2

RIP V2 elige la mejor ruta en función al número de saltos o routers en el camino. Por lo que del diagrama topológico escogerá el siguiente camino:

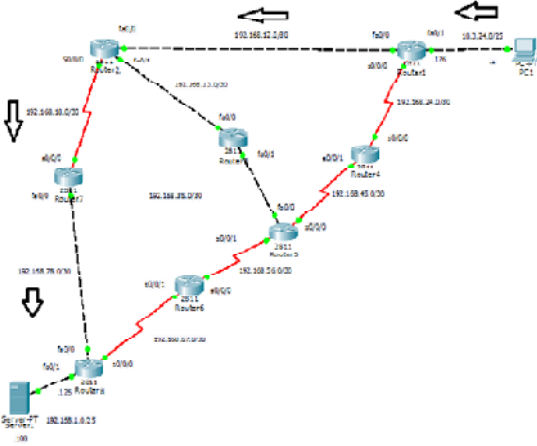


Figura N° 5 Ruta elegida por RIP escenario A

Lo que se verifica con el comando tracer:

```
C:\Windows\system32\cmd.exe - tracer [01/11/11]
Microsoft Windows [Versión 6.0.6002]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\anderson>ping 10.3.24.1

Pinging 10.3.24.1 with 32 bytes of data:
Reply from 10.3.24.1: bytes=32 time=10ms TTL=60
Reply from 10.3.24.1: bytes=32 time=10ms TTL=60
Reply from 10.3.24.1: bytes=32 time=10ms TTL=60

Ping statistics for 10.3.24.1:
    Packets: Sent = 3, Received = 3, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milliseconds:
        Minimum = 10ms, Maximum = 10ms, Average = 10ms
Control C
^C

C:\Users\anderson>tracert 10.3.24.1

Tracing route to 10.3.24.1 over a maximum of 30 hops:
  0  <1 ms  <1 ms  <1 ms  100.168.1.126
  1  <1 ms  <1 ms  <1 ms  192.168.128.22
  2  <1 ms  <1 ms  <1 ms  192.168.128.23
  3  <1 ms  <1 ms  <1 ms  192.168.128.24
  4  <1 ms  <1 ms  <1 ms  192.168.128.25
  5  <1 ms  <1 ms  <1 ms  192.168.128.26
  6  <1 ms  <1 ms  <1 ms  192.168.128.27
  7  <1 ms  <1 ms  <1 ms  192.168.128.28
  8  <1 ms  <1 ms  <1 ms  192.168.128.29
  9  <1 ms  <1 ms  <1 ms  192.168.128.30
 10  <1 ms  <1 ms  <1 ms  192.168.128.31
 11  <1 ms  <1 ms  <1 ms  192.168.128.32
 12  <1 ms  <1 ms  <1 ms  10.3.24.1

Trace complete.

C:\Users\anderson>tracert 10.3.24.1
```

Figura N° 6 Verificación de ruta elegida por RIP escenario A

Para cada paquete se calcula el tiempo promedio de llegada. Cabe mencionar que debido a la extensión del paquete los routers toman la decisión de enviar el paquete original en dos partes (por el tamaño de ventana que ellos deciden).

Para OSPF y Algoritmo de la Hormiga procedimos de la misma forma: eligieron ambos también la misma ruta y se verificó con el comando tracert.

En la siguiente tabla se muestran los resultados en promedio, obtenidos para el primer escenario.

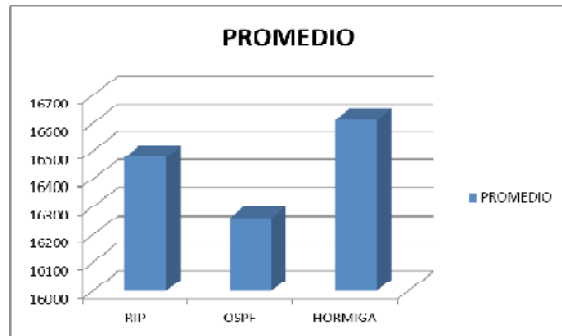


Figura N° 7 Valores promedios obtenidos con los tres algoritmos, escenario A

Notamos claramente que el algoritmo de la Hormiga es más rápido que RIP en 0.797%. Mientras que el algoritmo de la Hormiga es más rápido que OSPF en aproximadamente en 2.10%. También notamos por último que el algoritmo RIP es más rápido que OSPF en aproximadamente 1.32 %.

C.2. ESCENARIO B: Se corta el enlace entre R1 y R2, por lo que cada protocolo recalcula la nueva ruta para enviar los paquetes.

RIP V2

La nueva ruta elegida será la siguiente:

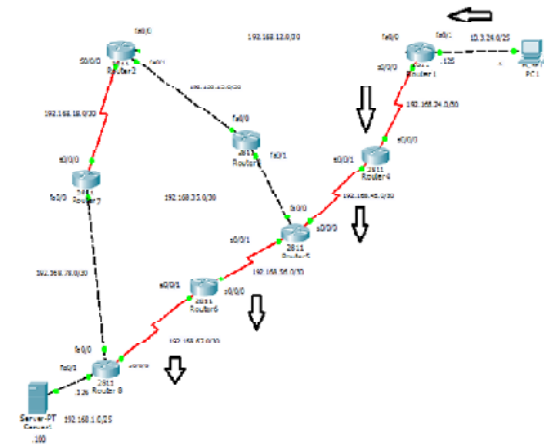


Figura N° 8 Ruta elegida por RIP escenario B

Lo que se verifica con el comando tracert:

OSPF y ALGORITMO DE LA HORMIGA

Debido a sus características propias, OSPF y Algoritmo de la Hormiga deciden una ruta distinta a la de RIP, lo que se muestra en la siguiente figura y que fue corroborado con el comando tracert:

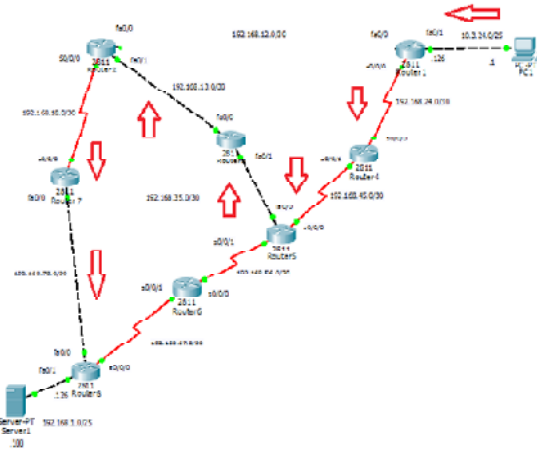


Figura N° 9 Ruta elegida por OSPF y Algoritmo de la Hormiga escenario B

En la siguiente tabla se muestran los resultados en promedio, obtenidos para el segundo escenario con los tres algoritmos aplicados:

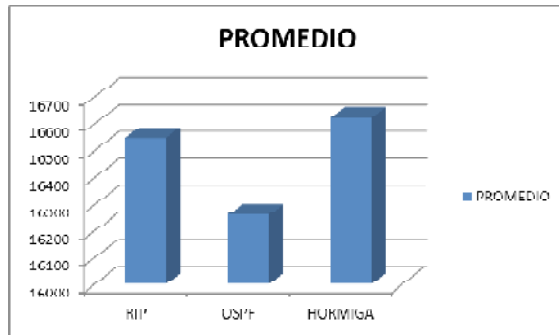


Figura N° 10 Valores promedios obtenidos con los tres algoritmos, escenario B

Para el segundo escenario notamos que: el algoritmo de la Hormiga es más rápido que RIP en 0.45%. Mientras que el algoritmo de la Hormiga es más rápido que OSPF en aproximadamente en 2.16%. También notamos por último que el algoritmo RIP es más rápido que OSPF en aproximadamente 1.73 %.

DISCUSIÓN

El algoritmo de enrutamiento utilizado será eficiente para las redes de datos para proporcionar el rendimiento de la comunicación requerida por las determinadas aplicaciones. (Mejía, 2009). De los resultados obtenidos, notamos que en promedio el algoritmo de la Hormiga funciona en aplicaciones de problemas combinatoriales como la red de routers aquí definida (Stützle, 2000.)

De los resultados observamos que funciona y es más rápido en comparación con el algoritmo OSPF en aproximadamente 2.16% y el algoritmo RIP en 0,45%. Esto realizando el análisis ANOVA con una probabilidad menor al 0.01% y un F obtenido del 9.05989.

Del análisis ANOVA se muestra:

- Del análisis de varianza realizado a un nivel de significancia del 1%, se muestra que existe evidencia estadística significativa entre la diferencia de tratamiento. Dado que el valor de probabilidad es menor al 1% (en este caso es de 0.09%), por lo que podemos asumir que existe diferencia entre el primer tratamiento: algoritmo RIP, el segundo tratamiento: Algoritmo OSPF y el tercer tratamiento algoritmo de la Hormiga.
- Realizamos posteriormente la prueba t para la medida o comparación de la pruebas emparejadas:
 - o Para el algoritmo OSPF y el de la Hormiga obtenemos $P(T \leq t)$ una cola es de 0.00136712 y $P(T \leq t)$ dos colas es de 0.00273424. Por lo que podemos manifestar que existe una diferencia estadística entre el algoritmo OSPF y el algoritmo de la Hormiga.
 - o Para el algoritmo RIP y el de la Hormiga obtenemos $P(T \leq t)$ una cola es de 0.12531581 y $P(T \leq t)$ dos colas es de 0.25063162. Por lo que podemos manifestar que no existe una diferencia estadística significativa entre el algoritmo RIP y el algoritmo de la Hormiga.

CONCLUSIONES

PRIMERA: Se logró diseñar un algoritmo de encaminamiento basado en la metaheurística: Método de la hormiga, siendo aplicado en una red definida de Routers.

SEGUNDA: Se implementó dicho algoritmo con ayuda del software Matlab, dando resultados en función al conjunto de los parámetros solicitados.

TERCERA: Se obtuvieron dos resultados, en la primera red, el algoritmo de la Hormiga fue superior al algoritmo RIP en 0.45%; la red con el algoritmo de la Hormiga fue superior al algoritmo OSPF en 2.17%. En la segunda red con el algoritmo de la Hormiga fue superior al algoritmo RIP en 0.45%; la red con el algoritmo de la Hormiga fue superior al algoritmo OSPF en 1.73%. Esto concluye que el algoritmo de la Hormiga es más eficiente, para estos escenarios, que los algoritmos RIP y OSPF para la transmisión de datos.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Altiplano por fomentar la investigación en todas las áreas del conocimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcalá R., Casillas J., Cerdón O., y Herrera F. (2001) «Improvement to the cooperative rules methodology by using the Ant Colony System algorithm». **Mathware & Soft Computing**, Vol. 8, N° 3: 321-335
- Boppana R.(1993) «A comparasion of adaptive packet-routing algorithms for tori» **An IEEEEXPLORE Vol 1 Nro 1: 120-126**
- Cheng-Jia L.(2006)»Tunnel Vector: A New Routing Algorithm with Scalability». **An IEEEEXPLORE Vol 1 Nro 1:23-29.**
- Cerdón O., Fernández de Viana I., y Herrera F.(2002). «Analysis of the Best Worst Ant System and its variants on the TSP». **Mathware & Soft Computing**, Vol. 9, N° 3: 177-193.
- Cerdón O., Fernández de Viana I., y Herrera F. (2002) «A Review on Ant Colony Optimization Metaheuristic: Basis, Models and New Trends». **Mathware & Soft Computing**, Vol. N° 9: 141-175.
- De Campos L. M., Gámez J. A., y Puerta J. M. (2002) «Learning bayesian networks by ant colony optimisation: searching in two different spaces». **Mathware & Soft Computing**, Vol. N° 9: 251-268.
- Engelbrecht Andries P. «Fundamentals of Computational Swarm Intelligence» **Wiley**, 2005
- Geng K.(2013)»The Minimum Delay Routing Algorithm for WOBAN». **An IEEEEXPLORE Vol 1 Nro 1:964-967.**
- Ghazy A. (2012). Ants Guide You to Good Route: Dynamic Traffic Routing of Road Network Using Threshold Based AntNet, Alemania, Lap Lambert
- Hwa-Chun L(1998)»VTDM-a dynamic multicast routing algorithm». **An IEEEEXPLORE Vol 3 Nro 1:1426-1432**
- Internet Society(2014) «Global Internet Report 2014» **Open and Sustainable Acces for All**:Geneva,Switzerland [Versión electrónica]
- Kemp S.(2014)»Social Digital & Mobile Worldwide in 2014" **News**, Singapore[version electrónica]
- Mejía A.(2009)»Region-Based Routing: A Mechanism to Support Efficient Routing Algorithms». **An IEEE Transactions Vol 17 Nro 3:356-369**
- Minghua T.(2015)»Routing Pressure: A Channel-Related and Traffic-Aware Metric of Routing Algorithm». **An IEEE Transactions Vol 26 Nro 3:891-901.**
- Nottebohm O, Manyika J, Bughin J(2012)»En línea y crecimiento: el impacto de internet en los países aspirantes» **McKinsey&Company** Vol1 N°1:16-17
- Penaranda C.(2014)»Hol-Blocking Avoidance Routing Algorithms in Direct Topologies». **An IEEE Transactions Vol 1 Nro 1:20-22**
- Stallings W (2004). **Comunicaciones y Redes de Computadoras**, Madrid: Prentice Hall, 7ma Edición
- Stützle T.y Dorigo M. (2002) «A short convergence proof for a class of Ant Colony Optimization algorithms». **An IEEE Transactions on Evolutionary Computation**, Vol:6 Nro 4: 358-365.
- Stützle T y Hoos.H. (2000) « MAX-MIN Ant System». **An Future Generation Computer Systems**. Vol 16 Nro: 8: 889-914.
- Stützle T.y Linke S. (2002) «Experiments with variants of ant algorithms». **An Mathware & Soft Computing**, Vol 9 Nro 2: 193-207.
- Tafur R. (1995) **La tesis doctoral**, Lima, Mantaro.
- Villalobos R. (2008). **Investigación I**, Arequipa, Universidad Alas Peruanas
- Xin G. (2009) «A distributed multipath routing algorithm to minimize congestion». **An IEEEEXPLORE Vol 1 Nro1:23-29**
- Yan Q.(2004)»A probability random scheme of distributed routing algorithm for MANETS». **An IEEEEXPLORE Vol 1 Nro 1:65-69**
- Zhang Z.(1995)»Logarithmically scalable routing algorithms in large optical networks». **An IEEEEXPLORE Vol 3 Nro 2:1290-1299**

