



Natural de Albox (Almeria), Ingeniero Superior de Telecomunicacion (2003) por la Universidad de Vigo. Desde Agosto 2001 hasta Septiembre 2003, estudiante de Intercambio ISEP (International Student Exchange Program) y Ph.D. Candidate en el Klipsch School of Electrical & Computer Engineering, New Mexico State University, Las Cruces, NM USA.

#### Trabajos Destacados:

- Participacion en proyecto con el patrocinio del US Army Communications-Electronics Command (CECOM) para la optimizacion de una red de comunicaciones moviles militar real (red movil inalambrica Ad-Hoc) y sus protocolos de enrutamiento distribuidos. Estudio de aplicabilidad de OSPF como protocolo de enrutamiento en redes Ad-Hoc inalambricas (Physical Science Laboratory, New Mexico State University, Las Cruces, NM USA).
- Proyecto patrocinado por el US Navy SPAWAR Systems Center, San Diego CA, con el objetivo de diseñar, implementar y simular un protocolo de acceso al medio (MAC) basado en la tecnica de paso de testigo para redes HF Ad-Hoc (Physical Science Laboratory, New Mexico State University, Las Cruces NM USA).
- Ingeniero de Radio, Departamento de Acceso Radio - Region Centro (Vodafone España, S.A, Madrid España).

#### Publicaciones Recientes

- "Robust Token Management for Unreliable Networks", E. E. Johnson\*, Z.Tang\*, M. Balakrishnan\*, J. Rubio\* 2 , H. Zhang, and S. Sreepuram.  
Proceedings of IEEE MILCOM 2003 conference, Boston MA, October 2003.

\* New Technologies Omnibus Contract DAAB07-00-D-G504, U.S. Army CECOM

En la actualidad, desarrolla su actividad profesional como Ingeniero de Software para Quality Objects (Madrid, España), como consultor de desarrollo en el Bell Labs Software Development center de Lucent Technologies (Alcobendas, España).

# Inter-Area Flooding Traffic Reduction in Highly Connected OSPF Network Topologies: The Mirror Interface \*

Juan Antonio Rubio Rubio

Julio 2003

## Abstract

Una de las principales preocupaciones en los protocolos de enrutamiento basados en la técnica de *Estado del Enlace*, donde OSPF (Open Shortest Path First) es su mayor exponente, es el desarrollo de mecanismos que permitan la reducción del tráfico de inundación o *flooding*, en redes con un alto nivel de interconexión entre los nodos.

El subprotocolo de inundación de OSPF ha demostrado a lo largo de los años su robustez y fiabilidad, pero también se ha revelado ineficiente en escenarios menos generales, aunque no por ello menos comunes, algo por otra parte, bastante común en cualquier variante de flooding.

En este Proyecto Fin de Carrera se presenta una solución, la *Interfaz Espejo o Mirror Interface*, que lleva a cabo la tarea de reducir el tráfico de inundación en topologías de Routers de Borde de Área (Area Border Routers o ABRs) con un alto nivel de interconexión. En particular, pares de ABRs conectados de forma redundante con múltiples enlaces en paralelo. Esta solución permite mejorar el rendimiento del router OSPF y de la red, especialmente en condiciones de alta carga. Así se facilitará el funcionamiento de los routers de borde de area, normalmente afectados por un mayor tráfico debido al esquema jerárquico que caracteriza a OSPF.

Además, la solución presentada en este proyecto, está diseñada para ser una extensión totalmente compatible con el standard RFC 2328, permitiendo así la utilización transparente dentro de un mismo Sistema Autónomo de routers que implementen la mejora con aquellos que no la implementan.

Finalmente, se ha llevado a cabo la implementación software de la Interfaz Espejo utilizando el código distribuido bajo licencia *GNU General Public License* del programa `ospd`, de John T. Moy, el creador de OSPF.

**Palabras Clave:** Enrutamiento, Estado del Enlace, Inundación, Open Shortest Path First (OSPF), Internet Engineering Task Force (IETF), Mirror Interface.

---

\*Proyecto Fin de Carrera, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación - Vigo

# 1 Datos del Proyecto

## 1.1 Autor

**Juan Antonio Rubio Rubio**

Ingeniero de Radio

Departamento de Acceso Radio - Región Centro

Vodafone España, S.A

## 1.2 Coordinadores

**Manuel J. Fernández Iglesias**

Profesor Titular

Area de Ingeniería Telemática

Departamento de Tecnologías de las Comunicaciones

E.T.S.I.T. Vigo - Universidad de Vigo

e-mail: manolo@ait.uvigo.es

**Eric E. Johnson**

Professor

Klipsch School of Electrical & Computer Engineering

New Mexico State Univeristy

Las Cruces, NM 88001 USA

e-mail: ejohnson@nmsu.edu

## 1.3 Fecha de Lectura y Calificación

- **Fecha de Lectura:** Vigo, 17 de Julio de 2003.
- **Calificación:** Matrícula de Honor.

## 1.4 Marco de Realización del Proyecto

El presente proyecto fin de carrera fue realizado dentro del marco de colaboración del programa internacional de intercambio *ISEP* (International Student Exchange Program) entre la universidad americana **New Mexico State University** y la española **Universidad de Vigo**.

Entre los meses de Agosto de 2001 y Mayo de 2002, el autor participó como estudiante de intercambio en el *Klipsch School of Electrical & Computer Engineering*, departamento de ingeniería eléctrica y de computadoras perteneciente a la anterior universidad.

Desde Mayo de 2002 y hasta Septiembre de 2003, el autor trabajó como ingeniero investigador en diversos proyectos militares relacionados con redes de datos móviles inalámbricas y sus protocolos de enrutamiento en el *Physical Science Laboratory*, laboratorio de investigación asociado a la citada universidad,

así como en el *Electrical & Computer Engineering Department* de la misma universidad.

## 1.5 Trabajos Relacionados

- **Physical Science Laboratory, Las Cruces NM USA (Mayo 2002 – Mayo 2003)**

Participación en proyecto de investigación con el patrocinio del *US Army Communications-Electronics Command*<sup>1</sup> (CECOM) para la optimización de una red de comunicaciones móviles militar real (red móvil inalámbrica Ad-Hoc) y sus protocolos de enrutamiento distribuidos. Estudio de aplicabilidad de OSPF como protocolo de enrutamiento en redes Ad-Hoc inalámbricas.

- **Klipsch School of Electrical & Computer Engineering, NMSU, Las Cruces, NM, USA (Mayo 2003 – Septiembre 2003)**

Participación en proyecto de investigación patrocinado por el *US Navy SPAWAR Systems Center*, San Diego CA, con el objetivo de diseñar, implementar y simular un protocolo de acceso al medio (MAC) basado en la técnica de paso de testigo para redes HF Ad-Hoc.

## 1.6 Publicaciones

“*Robust Token Management for Unreliable Networks*”, E. E. Johnson\*, Z. Tang\*, M. Balakrishnan\*, J. Rubio\*<sup>2</sup>, H. Zhang, and S. Sreepuram. *Proceedings of IEEE MILCOM 2003 conference*, Boston MA, October 2003.

## 2 Introducción

OSPF no es solamente un protocolo standard del IETF (Internet Engineering Task Force) y uno de los protocolos de enrutamiento más utilizados hoy en día en los Sistemas Autónomos de Internet. OSPF es además el exponente más importante de la familia de protocolos conocida como de *Estado del Enlace*. Como cualquier otro protocolo de esta familia de protocolos, el intercambio de información acerca del estado de los enlaces y de la topología existente en la red es un aspecto crucial para el buen funcionamiento del enrutado de paquetes IP en el sistema. Las decisiones de enrutamiento son tomadas por el router atendiendo a la información recolectada del resto de los routers en el Sistema Autónomo y de sus topologías locales. Una vez que esta información es obtenida, el router OSPF ejecuta el algoritmo de *Dijkstra*, que es bien conocido por resolver de forma óptima el problema de encontrar el camino de menor coste entre dos puntos de un grafo, del cual se conoce la topología, es decir, interconexión entre los nodos, y el coste asociado a cada enlace en el grafo.

---

<sup>1</sup>New Technologies Omnibus Contract DAAB07-00-D-G504, U.S. Army CECOM

<sup>2</sup>\* Supported by US Navy SPAWAR Systems Center, San Diego CA, USA, under contract N6601-97-D-5028

Es obvio que cada router dentro del AS debe ser capaz de calcular las mismas rutas, para evitar posibles bucles en el enrutado, uno de los problemas básicos que debe evitar a toda costa un protocolo de enrutamiento. Por tanto, en protocolos de estado del enlace, es de crucial importancia que la información del protocolo sea diseminada de la forma más rápida y precisa. En OSPF, esta tarea es llevada a cabo por el subprotocolo de *inundación* o *flooding*.

### 3 Flooding en OSPF

El subprotocolo de flooding, es la pieza de OSPF encargada de distribuir la información del protocolo a otros routers. Una de las principales ventajas de usar flooding en sistemas distribuidos a la hora de diseminar información es que ésta es distribuida con el menor retardo y con el mayor grado de consistencia posible. Pero la parte negativa es la inherente ineficiencia en el uso ancho de banda en la red y recursos en los nodos.

OSPF no es una excepción en ese sentido y muchos esfuerzos fueron empleados en el momento de su diseño para disminuir el impacto de la inundación en grandes redes. Existen diversos mecanismos introducidos en el diseño de OSPF para limitar el impacto de la inundación como por ejemplo el **Router Designado (Designated Router, DR)**. En redes de tipo *Broadcast*, el router designado permite reducir el impacto de la inundación, ya que él será el encargado de inundar la red tipo broadcast, inhibiéndose para la inundación el resto de routers de esa misma red.

Otro mecanismo empleado en OSPF, es una versión limitada del *enrutamiento jerárquico*, técnica comunmente usada en Internet y en otras redes de comunicación. Esta técnica se materializa en la forma de *áreas de enrutamiento* separadas. La llamada *Área 0* o *Backbone* corresponde al nivel más alto en la jerarquía de dos niveles que podemos encontrar en OSPF. El resto de áreas reciben el nombre de *áreas secundarias*. El principal atributo de la subdivisión en áreas es que la información inundada de un área a otra sólo se produce de una forma limitada, con el consiguiente ahorro de recursos. En la Tabla 1 se presentan los diversos tipos de LSAs que existen en OSPF con una pequeña descripción de su función y el ámbito de inundación de los mismos.

Pero hay situaciones en las que el diseño del dominio se debe realizar con cuidado para no desperdiciar recursos. Un ejemplo de esta situación se puede encontrar cuando dos routers de borde de area se encuentran compartiendo un número de enlaces paralelos, de la manera representada en la Figura 1.

Decir que la redundancia en las conexiones puede ser conseguida mediante la instalación de segmentos de red adicionales. También puede ser necesaria una actualización de la capacidad de los enlaces para acomodar el tráfico creciente. Todo esto puede ser conseguido de forma más sencilla mediante la instalación de segmentos de red adicionales que mediante el cambio de los enlaces actuales por otros de mayor capacidad.

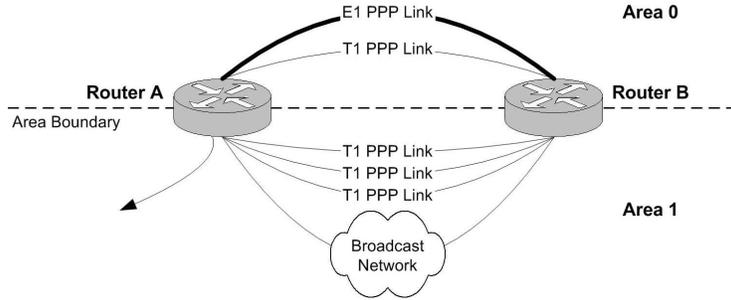


Figure 1: Routers OSPF Conectados Redundantemente.

En OSPF, los enlaces pueden ser configurados como pertenecientes a un área o a otra, pero sólo un área puede estar configurada por interfaz. Esto es necesario para delimitar qué enlaces serán inundados con la llegada de un nuevo LSA. Por ejemplo en la Figura 1, un LSA de tipo 1 o Router-LSA, recibido por el Router A de un tercer router, será inundado hacia B sólo en aquellos enlaces configurados para el Área al que pertenezca el LSA (dos en caso de pertenecer al Área 0 o 4 en caso de pertenecer al Área 1). En cambio, un LSA de tipo 5 recibido por el router A, debe ser inundado hacia B por todas las interfaces disponibles. Todo esto implica que el Router B recibirá en ambos casos múltiples instancias del mismo LSA (especialmente en el caso del LSA de tipo 5), con el consiguiente mal uso de recursos de red y de procesamiento. A ello hay que sumar el hecho de que en OSPF, el proceso de inundación es *fiabile*. Es decir, los LSAs deben ser confirmados. Claramente, el escenario presentado en la Figura 1 puede ser optimizado.

Link State Advertisement	Type	Flooding Scope	Information Provided
Router-LSA	1	Area	Router interfaces
Network-LSA	2	Area	Routers attached to network
Network-Summary-LSA	3	Area	Inter-area routes to network
ASBR-Summary-LSA	4	Area	Inter-area routes to ASBR
AS-External-LSA	5	AS	Dest. external to the AS
Group-Membership-LSA	6	Area	Multicast OSPF
Type-7-LSA	7	Area	NSSA route import
External-Attributes-LSA	8	AS	BGP destination attributes
Type-9-Opaque-LSA	9	Link-local	Application-specific info
Type-10-Opaque-LSA	10	Area	Application-specific info
Type-11-Opaque-LSA	11	AS	Application-specific info

Table 1: OSPF LSA Types.

## 4 Optimización del Proceso de Inundación

El estado actual de implantación del protocolo OSPF, con una gran población de Sistemas Autónomos corriendo implementaciones del protocolo, desaconseja la idea de un subprotocolo de flooding completamente nuevo. Por otro lado, se puede alcanzar una reducción del tráfico de flooding bajo circunstancias en las que el subprotocolo ha demostrado un rendimiento pobre y donde las modificaciones necesarias en [1, RFC2328] no supondrían un gran esfuerzo. Típicamente, para evitar una gran disrupción en el funcionamiento de una red, la implantación de una modificación de este tipo requiere compatibilidad hacia atrás entre las diferentes versiones del software de los routers, así como un número pequeño de routers actualizados dentro de un Área o AS.

En el pasado, el Comité de OSPF del IETF (Internet Engineering Task Force, [2]) ha trabajado en diversas propuestas que mejoraban el flooding de diferentes maneras, todas ellas en forma de *opciones del protocolo*. Esto es, modificaciones opcionales y normalmente compatibles hacia atrás. Dos ejemplos son [8] y [9], donde el tráfico de flooding es reducido a un mínimo en escenarios en los que los routers se encuentran conectados por un conjunto de enlaces paralelos pertenecientes a un mismo área, es decir, suponiendo que en la Figura 1 todos los enlaces pertenecieran al mismo área. Más ejemplos de esquemas de mejora del flooding pueden encontrarse en el apartado de referencias al final de este documento.

Sin embargo, ninguna de las propuestas discutidas hasta ahora, hizo incapié en una reducción de sobrecarga producida en los bordes de área por el tráfico inter-área de OSPF (normalmente, AS-External-LSAs), cuando los ABRs se encuentran conectados redundantemente por enlaces paralelos. Los AS-External-LSAs suelen ser el tipo más numeroso dentro de la base de datos de LSAs de un router OSPF (véase Tabla 2). La aplicación de las propuestas [8] y [9] al ejemplo de la Figura 1, nos llevaría a inundar hacia el Router B al menos un AS-External-LSA en cada Área (es decir, una copia del AS-External-LSA será enviada usando un enlace de Área 0 y otra copia usando un enlace de Área 1) cuando la solución óptima es inundar sólo una vez.

En este Proyecto Fin de Carrera se ha diseñado e implementado una solución, la **Interfaz Espejo**, que permite alcanzar las mejoras ejemplificadas que acabamos de ver y otras que se muestran en los siguientes párrafos.

Link State Advertisement	Area	Número de LSAs
Type-1 Router LSA	0	25
Type-2 Network LSA	0	7
Type-3 Summary Network LSA	0	111
Type-4 Summary ASB LSA	0	5
Type-1 Router LSA	1	3
Type-2 Network LSA	1	1014
Type-4 Summary ASB LSA	1	16
Type-5 AS External LSA	-	6687

## 5 The Mirror Interface Option

### 5.1 Resumen Funcional

La *Interfaz Espejo* o *Mirror Interface* es una nueva definición de interfaz que se añade al conjunto de interfaces que se especifican en el protocolo: Broadcast, Point-to-Point, Point-to-Multipoint y Non-Broadcast Multiaccess. Para ello, se ha diseñado esta modificación como una extensión opcional totalmente compatible con el standard RFC 2328. La Interfaz Espejo, cuando se aplica a escenarios como el de las Figuras 1, 2 y 3, permite obtener las mejoras que se indican a continuación:

- *Permite que un sólo enlace físico pueda ser compartido por múltiples áreas* a la hora de inundar LSAs. Como se ha visto en párrafos anteriores, el hecho de que un enlace sólo pueda estar configurado para un sólo área, hace que la inundación sea subóptima en configuraciones de ABRs con enlaces redundantes paralelos. De esta forma, el AS-External-LSA podrá ser inundado una sola vez en lugar de múltiples veces como veíamos en el escenario de la Figura 1.
- *Posibilita que el tráfico de **inundación** sea redirigido* por el enlace que más convenga del conjunto de enlaces paralelos presentes entre dos routers de borde de área. Esto será más fácil de entender con un ejemplo. En la Figura 2, se observa que el enlace número 0 perteneciente al Backbone del AS tiene un coste inferior al ser de mayor ancho de banda (en general en OSPF un menor coste va asociado a un mayor ancho de banda en el enlace). Como se ha comentado anteriormente, un LSA perteneciente a un área determinada no puede ser inundado en otra distinta (estructura jerárquica). Sin embargo, en el escenario de la Figura 2, puede ser ventajoso el uso de un enlace de otro área. Por ejemplo, el administrador de una gran red corporativa podría estar interesado en usar el enlace OC3/DS3 del Backbone entre los Routers A y B para el intercambio de la información del protocolo, reduciendo así el impacto de la inundación en el enlace regional, normalmente de menor capacidad.
- *Posibilita el redireccionamiento real del tráfico de inundación* por el enlace más conveniente para cada aplicación. En OSPF, el tráfico IP es enrutado usando los costes configurados para cada enlace. En cambio, el tráfico de información del protocolo, no puede ser redireccionado por un enlace u otro según se desee. En el caso de enlaces paralelos entre dos routers, es claro que lo que realmente interesa es que la información del protocolo llegue al otro extremo. Sin embargo en ocasiones puede ser ventajoso la elección del enlace a usar para transmitir esa información, como en el de enlaces paralelos entre dos routers. En el escenario representado en la

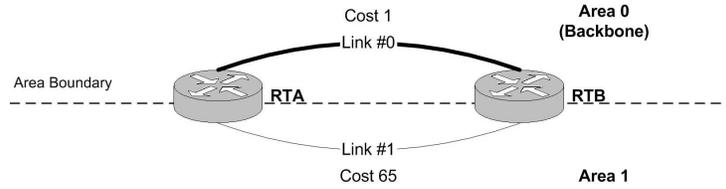


Figure 2: Ejemplo de la Aplicación de la Interfaz Espejo (I).

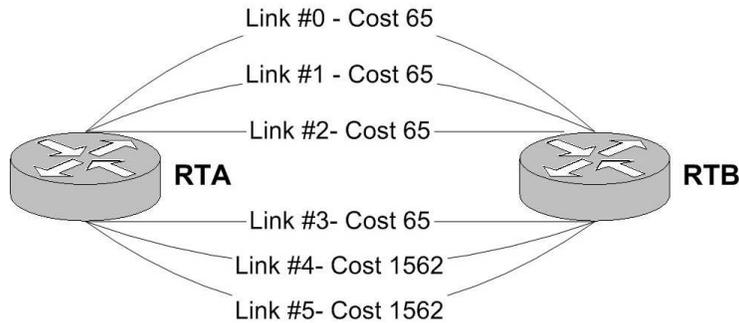


Figure 3: Ejemplo de la Aplicación de la Interfaz Espejo (I).

Figura 3, el administrador de la red puede elegir diseminar la información usando exclusivamente el enlace de *menor* ancho de bando, el de *mayor* coste. De esta manera se puede evitar la interferencia entre el tráfico IP, que será encaminado usando los enlaces de mayor capacidad, y el tráfico producido por el protocolo que será diseminado usando un enlace *dedicado* a tal efecto. El resultado final será el de disminuir potencialmente el retardo sufrido por la información de protocolo, lo cual, redundará en un mejor funcionamiento de los nodos afectados. De hecho, actualmente existe un trabajo en progreso en el Comité de OSPF del IETF [34], sugiriendo el marcado explícito de los paquetes de OSPF para darles un tratamiento priorizado en los nodos y reducir así el retardo de diseminación de la información del protocolo. Remarcar que este último escenario sólo implica un área, a diferencia del caso anterior.

En esta sección se han presentado las mejoras que conlleva la utilización de la Interfaz Espejo de una forma muy resumida, Para más detalles referentes al diseño de la Interfaz Espejo, se remite al lector a la memoria del Proyecto Fin de Carrera.

## 5.2 Implementación Software

Para la implementación de la Interfaz Espejo, se llevaron a cabo las modificaciones necesarias en el código C++ de la implementación GNU de OSPF `ospfd Routing Software` que se puede encontrar en [6] y [7]. Este es un código de más de 30.000 líneas cuyo autor es el creador de OSPF, John T. Moy. Supone una de las primeras fuentes de conocimiento para aquellos que desean introducirse en OSPF de una forma práctica. También sirvió como base a las primeras implementaciones comerciales del protocolo. Una de las razones para elegir esta implementación de OSPF está en el hecho de que el código estaba portado a Linux de dos formas: un *demonio* y un *simulador*. La particularidad aquí es que el código del simulador es usado también para el demonio, con lo cual, las mejoras pueden simularse y depurarse en el simulador y posteriormente utilizarse corriendo el demonio en una máquina Linux.

Para ampliar detalles sobre la implementación software de la Interfaz Espejo, se remite al autor a la memoria completa de este Proyecto Fin de Carrera.

## 5.3 Escenario de Pruebas

En esta sección se muestra un pequeño escenario de pruebas que fue utilizado para la depuración de la implementación software por medio del simulador. En la Figura 4, se representan una serie de *cuatro* enlaces paralelos (point-to-point) instalados entre varios pares de routers. Estos pares son: RTB-RTC, RTA-RTD, RTC-RTD, RTB-RTD, RTA-RTC, RTI-RTE, RTE-RTF, RTK-RTL, RTJ-RTE. El par RTB-RTC implementa sus enlaces divididos entre las áreas. RTB, RTI, y RTG importaron un número de rutas externas al Sistema Autónomo en la forma de AS-External-LSAs. El número total de rutas inyectadas en el sistema fue de 6696. La Tabla 3 muestra los resultados globales obtenidos en el sistema después de la *tormenta de LSAs* (refresco de los LSAs en las bases de datos de los routers). Los resultados fueron obtenidos, con una implementación fresca del protocolo, es decir, de acuerdo con RFC2328 y una implementación que integraba la Interfaz Espejo en los router que compartían enlaces paralelos. Notar que el número de LSAs generados nuevos y recibidos (no se incluyen LSAs duplicados) es mayor en el caso de la Interfaz Espejo. La razón para esto es que que la Interfaz Espejo hace uso de una serie de LSAs diseñados para su implementación: *mirror-request-LSAs*, *mirror-respond-LSAs* y *mirror-encapsulated-LSAs*. Se refiere al lector a la memoria completa para más detalles.

Como se puede observar, el número final de *Update Packets* (paquetes usados por el protocolo para diseminar los LSAs) es considerablemente menor, ya que se eliminan duplicados.

Scenario	LSAs Originated	New LSAs Received	Update Pkts Received
Mirror Interface Option	7115	87807	4918
OSPF Spec. RFC 2328	6955	87647	9116

Table 3: Sample Results of the Mirror Interface Option Deployment.

## 6 Conclusiones y Trabajo Futuro

### 6.1 Conclusiones

La investigación documentada en este Proyecto Fin de Carrera, lleva a cabo el diseño y la implementación software de una *opción* al protocolo OSPF, la **Interfaz Espejo** o *Mirror Interface* que afronta el problema de la sobrecarga producida por el tráfico inter-área en topologías de Routers de Borde de Area en presencia de múltiples enlaces paralelos. Como consecuencia de los mecanismos usados para resolver el anterior problema, se observa que con las mismas herramientas que proporciona la Interfaz Espejo, se pueden conseguir funcionalidades adicionales que no están presentes en la definición actual del protocolo. Como por ejemplo, la posibilidad de *redireccionar* el tráfico del protocolo por

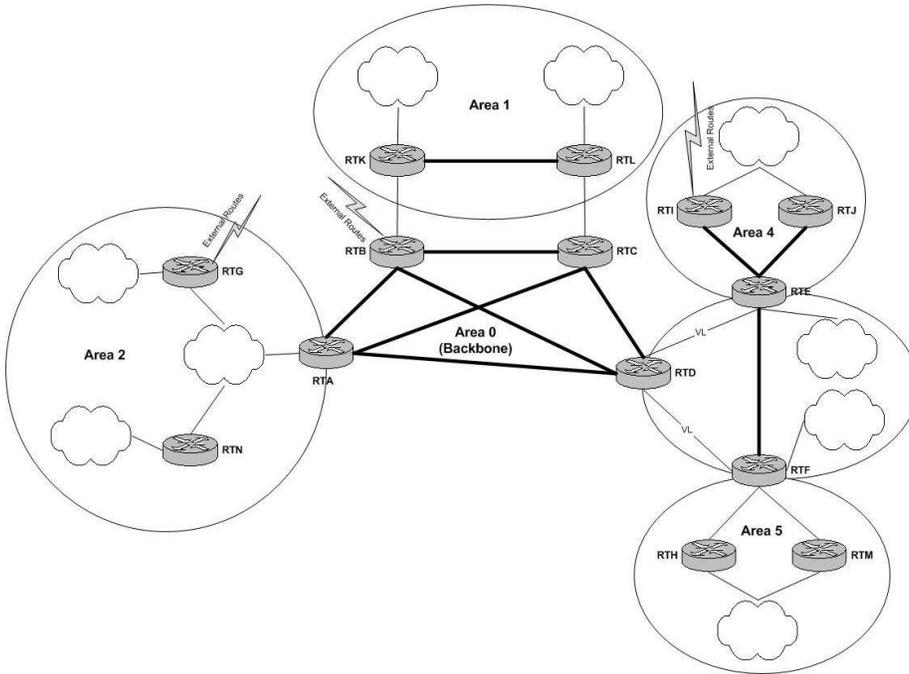


Figure 4: Sample Network.

el enlace más conveniente dentro de un conjunto de enlaces paralelos entre dos routers OSPF.

Además, la Interfaz Espejo ha sido diseñada para cumplir el requerimiento de compatibilidad hacia atrás con versiones del software que no implementen esta opción.

Finalmente, una implementación software ha sido realizada utilizando el código de libre distribución *ospfd Routing Software*, de John T. Moy.

## 6.2 Trabajo Futuro

Con el objetivo de investigar el rendimiento de la Interfaz Espejo bajo condiciones de alta carga, se hace necesario la utilización de herramientas o entornos de simulación más avanzados. El simulador incluido en *ospfd Routing Software*, permite la simulación funcional de la implementación, pero no la obtención de resultados relacionados con la carga de tráfico.

Para más detalles acerca de las posibles vías de trabajo futuras, se remite al lector a la memoria completa.

## References

- [1] J. Moy, “*OSPF version 2*”. Technical Report RFC 2328, Internet Engineering Task Force, 1998.
- [2] IETF, Open Shortest Path First IGP (ospf) Charter, <http://www.ietf.org/html.charters/ospf-charter.html>.
- [3] S. Bradner, “*The Internet Standards Process – Revision 3*”, Technical Report RFC 2026, Internet Engineering Task Force, 1996.
- [4] J. Reynolds and R. Branden “*Instructions to Request for Comments (RFC) Authors*”. Internet Draft, draft-ietf-editor-rfc2223bis-03.txt, October 2002. Work in progress.
- [5] IETF, “*Guidelines to Authors of Internet-Drafts*”, <ftp://ftp.ietf.org/ietf/1id-guidelines.txt>, September 2002.
- [6] J. Moy, “*OSPF Complete Implementation*”, Addison-Wesley, 2001.
- [7] ospfsim and ospfd, “*OSPF Simulator and Routing Software*”, <http://www.ospf.org>.
- [8] A. Zinin and M. Shand, “*Flooding Optimizations in Link State Routing Protocols*”. Internet Draft, draft-ietf-ospf-isis-flood-opt-01.txt, March 2001. Work in progress.
- [9] J. Moy, “*Flooding over Parallel Point-to-Point Links*”. Internet Draft, draft-ietf-ospf-ppp-flood-00.txt, 2000. Work in progress.
- [10] P. Pillay-Esnault, “*OSPF Refresh and flooding reduction stable topologies*”. Internet Draft, draft-pillay-esnault-ospf-flooding-03.txt, December 2000. Work in progress.
- [11] P. Murphy, “*OSPF Floodgates*”. Internet Draft, draft-ietf-ospf-floodgates-01.txt, December 2000. Work in Progress.
- [12] J. Moy, “*Flooding Over a Subset Topology*”. Internet Draft, draft-ietf-ospf-subset-flood-00.txt. February 2001. Work in progress.
- [13] S. Kini and R. Dube, “*Redundant LSA reduction in OSPF*”. Internet Draft, draft-kini-dube-ospf-redundant-lsa-reduction-00.txt, October 1999. Work in progress.
- [14] P. Murphy, “*OSPF Multiple Area Links*”. Internet Draft, draft-ietf-ospf-mlinks-03.txt, February 2002. Work in progress.
- [15] A. Aho and D. Lee, “*Hierarchical networks and the LSA N-Squared Problem in OSPF routing*”, GLOBECOM 2000 - IEEE Global Telecommunications Conference, no. 1, November 2000, pp. 397-404.

- [16] Brad Cain, “*Fast Link State Flooding*”, GLOBECOM 2000 - IEEE Global Telecommunications Conference, no. 1, November 2000, pp. 465-469.
- [17] A. Zinin et al. “*OSPF Link-local Signaling*”. Internet Draft, draft-nguyen-ospf-lls-01.txt, September 2002. Work in progress.
- [18] A. Lindem et al. “*Extensions to IS-IS and OSPF for Advertising Optional Router Capabilities*”. Internet Draft, draft-raggarwa-igp-cap-01.txt, November 2002. Work in progress.
- [19] G. Choudhury and V. Manral, “*LSA Flooding Optimization Algorithms and Their Simulation Study*”. Internet Draft, draft-choudhury-manral-flooding-simulation-00.txt, November 2002. Work in progress.
- [20] P. Narvaez, K.-Y. Siu, and H.-Y. Tzeng, “*New Dynamic Algorithms for Shortest Path Tree Computation*” Technical Memorandum BLO113470-980505-04TM, Bell Labs, Lucent Technologies, May 5, 1998.
- [21] M. Steenstrup, “*Inter-Domain Policy Routing Protocol Specification: Version 1*”. IETF Internet Draft, May 1992.
- [22] ISO, “*Intermediate system to Intermediate system routeing information exchange protocol for use in conjunction with the Protocol for providing the Connectionless-mode Network Service*” (ISO 8473), ISO/IEC 10589:1992.
- [23] P. Narvaez, “*Fault-Tolerant Routing in the Internet without Flooding*”.
- [24] P. Narvaez, K.-Y. Siu, and H.-Y. Tzeng, “*Local Restoration Algorithms for Link-State Routing Protocols*” ICCCN’99. Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Computer Communications and Networks, Boston, Massachusetts, October 1999.
- [25] P. Narvaez, K.-Y. Siu, and H.-Y. Tzeng, “*Efficient Algorithms for Multi-Path Link-State Routing*” ISCOM’99. Proceedings of the 1999 International Symposium on Communications, Kaohsiung, Taiwan, November 1999.
- [26] J. Garcia-Luna-Aceves and M. Spohn, “*Scalable Link-State Internet Routing*” Proc. IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP 98), Austin, Texas, October 14-16, 1998.
- [27] M. Spohn, “*Routing In The Internet Using Partial Link State Information*”, Ph. D. Thesis, University of California, Santa Cruz, September 2001.
- [28] A. Shaikh, M. Goyal, A. Greenberg, R. Rajan, and K.K. Ramakrishnan. “*An OSPF Topology Server: Design and Evaluation*”, submitted for publication, 2001.
- [29] A. Shaikh and A. Greenberg, “*Experience in Black-box OSPF Measurement*”, ACM SIGCOMM Internet Measurement Workshop (IMW), 2001.

- [30] A. Basu, J. Riecke, “*Stability Issues in OSPF Routing*”, Proceeding of ACM SIGCOMM 2001, San Diego, CA, August 2001.
- [31] A. Shaikh, L. Kalampoukas, A. Varma, and R. Dube, “*Routing stability in congested networks: Experimentation and analysis*”. In Proc. ACM SIGCOMM '00, pages 163–174, Stockholm, Sweden, 2000.
- [32] O. Monkewich, I. Sales, R. L. Probert, “*OSPF Efficient LSA Refreshment Function in SDL*”. SDL Forum 2001, pp. 300-315.
- [33] J. Nešetřil, E. Milkov and H. Nešetřilov. “*Otakar Borůvka on Minimum Spanning Tree Problem: Translation of Both the 1926 Papers, Comments, History*”, DMATH: Discrete Mathematics, vol. 233, 2001.
- [34] G. L. Choudhury, et al. “Prioritized treatment of specific OSPF packets and congestion avoidance”. *Internet Draft*, draft-ietf-ospf-scalability-05.txt, May 2003. Work in Progress.