

Un enfoque probabilístico en la autorreparación de redes G-PON

J. García-Algarra^{a,*}, J. González-Ordás^a, P. Arozarena^a, R. Afonso^b, Á. Carrera^c

^a Telefónica Investigación y Desarrollo, Ronda de la Comunicación S/N, 28050, Madrid (España)

^b Telefónica Investigación y Desarrollo, Parque Tecnológico de Boecillo, 47151 Boecillo (España)

^c Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Ingeniería Sistemas Telemáticos, E.T.S.I. Telecomunicación, Avenida Complutense nº 30, 28040 Madrid (España)

Resumen

El despliegue de accesos de fibra óptica hasta los hogares (*Fiber To The Home*, FTTH en adelante) es una prioridad de los operadores de telecomunicación para soportar nuevos servicios digitales y mejorar la experiencia de los usuarios. G-PON es la tecnología más común; su instalación plantea importantes retos en el diagnóstico y reparación de averías de esta infraestructura, de características muy diferentes a las de los tradicionales pares de cobre. En este artículo presentamos una experiencia basada en un enfoque probabilístico del problema. Copyright © 2014 CEA. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

Palabras Clave:

FTTH, G-PON, red bayesiana, agentes, autorreparación.

1. Introducción

La sustitución de los pares de cobre por fibra óptica en la red de acceso era una posibilidad técnica desde hace muchos años pero solo recientemente se ha convertido en una prioridad comercial. Estándares como ADSL2+ y VDSL permitían alcanzar velocidades de bajada de hasta 50Mbit/s con los cables ya existentes, posponiendo las fortísimas inversiones que son necesarias para desplegar una red de fibra. Sin embargo, la demanda creciente de ancho de banda y de tiempo de latencia reducido para las aplicaciones multimedia y los servicios de alta calidad, han fomentado el despliegue de esta tecnología.

La fibra óptica en el bucle de acceso es en la actualidad uno de los motores de la transformación de la industria de las telecomunicaciones y exige un gran esfuerzo inversor en equipos y sistemas. De entre las posibles soluciones técnicas, las redes ópticas pasivas (*Passive Optical Networks*, PON) son las que gozan de mayor éxito. Los costes teóricos de mantenimiento de la fibra son inferiores a los de los circuitos metálicos, puesto que es más resistente ante las inclemencias meteorológicas. En contraste, las redes PON presentan una dificultad de diagnóstico mayor.

En ADSL/VDSL la relación de servicio entre el cliente y los puertos del equipo en la central es uno a uno, esto es cada puerto está dedicado a un único usuario. En contraste, las redes PON tienen estructura de árbol, con dos posibles niveles de *splitting* óptico. Los fallos en las ramas de estos árboles no se pueden localizar con facilidad, incluso empleando técnicas sofisticadas y

costosas basadas en reflectometría. El servicio FTTH es mucho más que la fibra óptica, ya que incluye equipos en ambos extremos (OLT en la central, ONTs, *routers*, *set top boxes* o teléfonos IP en el hogar). Estos equipos proporcionan información muy valiosa pero heterogénea. El operador tiene que razonar basándose en su experiencia para descubrir la causa raíz del fallo y su localización. Nuestra propuesta es la automatización de este procedimiento y, yendo más allá, un primer paso en el procedimiento de autorreparación, para reducir el tiempo de indisponibilidad del servicio.

La gestión tradicional de las redes de telecomunicación se basaba en la suposición de que el estado de cada elemento se podía conocer en todo momento, lo que condujo a la construcción de sistemas centralizados para manejar grandes cantidades de datos (ITU-T, 1989; Creaner, 2005). El número de entidades gestionadas ha crecido de tal forma que esta aproximación no es válida ni por límites computacionales, ni por su incapacidad para trabajar con datos incompletos o incorrectos. Además, la aparición de múltiples dominios de gestión y de propiedades emergentes típicas de los sistemas complejos en las redes añade más dificultades (Faloutsos et al., 1999; Chen et al., 2005). Dada la naturaleza del problema que nos incumbe la incertidumbre no se puede dejar de lado como un ruido indeseable hay que tenerla en cuenta en el diseño de las soluciones.

Las técnicas probabilísticas tienen un alto potencial para conseguir una gestión de red eficaz y económica. Por razones de escalabilidad, es razonable trabajar con muestreos y no con la

* Autor en correspondencia

Correos electrónicos: algarra@tid.es (J. García-Algarra), javiord@tid.es (J. González-Ordás), pabloa@tid.es (P. Arozarena), ran@tid.es (R. Afonso), a.carrera@gsi.dit.upm.es (Á. Carrera).

totalidad de los datos, que presentan gran redundancia. La pérdida de conexión con algunos dispositivos en caso de avería añade un grado de incertidumbre que resulta crítico en el diagnóstico. En esta situación, el enfoque estadístico resulta más robusto que los algoritmos deterministas basados en flujos de pruebas. Diversos autores han descrito soluciones probabilísticas en la gestión de redes y servicios (Ding 2004, 2006; Badonnel, 2006; Brunner, 2009; Prieto, 2011), un campo de investigación muy activo en la actualidad.

El resto del artículo está estructurado de la siguiente manera. La sección 2 presenta una descripción del escenario de trabajo, en nuestro caso, una red G-PON. La sección 3 explica como es el sistema desarrollado. En la 4 se resumen los resultados y en la 5 se establecen las conclusiones y futuras líneas de trabajo.

2. Descripción del escenario

El experimento se ha llevado a cabo en un entorno de laboratorio conectado por una red G-PON a una central telefónica.

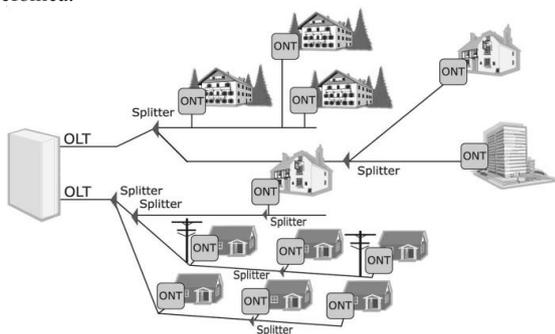


Figura 1: Red G-PON.

Una red pasiva de este tipo tiene una estructura de árbol con los siguientes elementos (Figura 1):

- *Optical Network Termination (ONT)*: dispositivo instalado en el hogar del cliente, que realiza la conversión de señal óptica a eléctrica.
- *Optical Line Termination (OLT)*: equipo de la central que soporta en cada uno de sus puertos múltiples ONTs (hasta 64) en un único árbol de fibra.
- *Optical Splitters (OS)*, que distribuyen la señal óptica procedente de la central entre las múltiples ramas del árbol y, en sentido contrario, mezclan la señal de los clientes en la fibra raíz. En nuestro escenario contemplamos dos niveles *splitting*: el primero con una relación 1:2 *splitting* (1 entrada, 2 salidas), y un segundo con relación 1:8 *splitters*. Estos elementos son pasivos, no necesitan alimentación.
- Cables de fibra que conectan la ONT, la OLT y los *splitters*. Los dos niveles de *splitting* definen tres segmentos diferentes denominados *drop* (de la ONT al *splitter* más próximo al hogar), *distribution* (entre *splitters*) y *feeder* (de la OLT al primer *splitter*).

El escenario de prueba simula un servicio de difusión de televisión sobre IP (véase la figura 2). Un servidor de vídeo *streaming* se sitúa en la red interna de la operadora, que en nuestra maqueta es una Ethernet conectada a la OLT en la central

Madrid Alcántara. En esas instalaciones, un mezclador DWDM permite conectar el reflectómetro al árbol. Desde esta central se difunde la señal mediante un árbol G-PON de prueba hasta el laboratorio en otro edificio de la Compañía. Allí se conecta al segundo *splitter* en un repartidor óptico. Se dispone de tres fibras de prueba con sus respectivas ONTs. Una de ellas se utiliza para simular el hogar del cliente, con un *router* y un PC con *software* de reproducción multimedia que equivale al conjunto decodificador + televisión. El diagnosticador tiene conectividad IP con todos los elementos descritos para obtener las observaciones.

3.1. Tipos de avería producidas

En condiciones normales, el usuario se conecta con la aplicación multimedia al servidor de vídeo y elige la película que quiere ver. Para validar el modelo y verificar la exactitud de los diagnósticos, se pueden provocar las siguientes averías en el sistema:

- Parada del servidor de vídeo.
- Desconexión de la red Ethernet entre el servidor de vídeo y la OLT.
- Desconfiguración del puerto de la OLT para simular avería en este equipo.
- Desconexión de la fibra de la interfaz óptica de la OLT que simula un problema en el tramo *feeder*.
- Desconexión mediante filtros ópticos del tramo *distribution* o el tramo *drop*.
- Desconexión eléctrica de la ONT.
- Desconexión del cable Ethernet entre ONT y *router*.
- Desconexión o parada de cualquiera de los dos elementos del hogar: *router* o PC.
- Parada del *software* de reproducción multimedia.

3. Descripción del sistema

Hemos desarrollado un prototipo denominado fibIT, un sistema multiagente que emplea inferencia bayesiana distribuida para el diagnóstico y un modelo *Belief-Desire-Intention* (BDI) para la actuación en los casos en los que la reparación automática sea posible. El empleo de redes bayesianas en diagnóstico goza de gran éxito por su capacidad para manejar la incertidumbre (Ding et al., 2006; Barco-Moreno, 2007; Lee, 2007). Como muestra Daili Zhang (Zhang, 2010), dentro de las diferentes técnicas de razonamiento que se encuentran en la literatura, la gestión de incertidumbre en un entorno distribuido de control que ofrece el modelo bayesiano destaca por su robustez y rendimiento en tiempo real frente a otras alternativas, como CBR (*Case-based Reasoning*), sistemas de reglas o lógica difusa (*Fuzzy Logic*). Se ha aplicado previamente en otros entornos (García-Algarra et al., 2011; Carrera et al., 2012), pero FTTH presenta dificultades específicas que han motivado esta investigación. A diferencia de esos escenarios, no existía un sistema de diagnóstico tradicional determinista basado en BPM con el que comparar tiempos y confiabilidad del resultado.

El principal inconveniente es la estructura en árbol de G-PON. Para conocer el estado de cada rama sería necesario disponer de medidas reflectométricas individuales en todas, una solución inviable desde el punto de vista económico.

En este entorno, la combinación de observaciones de elementos de distinta naturaleza permite solventar este obstáculo mediante el uso de redes bayesianas. Hasta donde conocemos solo hay una referencia en la literatura a este procedimiento (Moštak et al., 2010).

3.1. Captura del conocimiento

La captura del conocimiento es el primer paso y el más importante para automatizar las operaciones. Los ingenieros del conocimiento entrevistan a los operadores expertos para obtener información sobre procedimientos, herramientas y reglas generales que utilizan en sus rutinas diarias.

En lugar de formalizar este conocimiento de una manera que sea cómoda para los entrevistadores, se usa el enfoque opuesto. El intercambio de información es muy interactivo e informal, se invita a los operadores a "contar historias", dibujar diagramas o realizar tareas comunes sobre la red real.

Las fuentes de datos son un elemento clave. Para evitar costosas adaptaciones de *software* en los sistemas ya existentes, se busca identificar la información mínima necesaria y se imita la manera en la que los operadores la obtienen, incluso cuando trabajan con datos incompletos.

Con todas estas entradas se crea el primer esbozo de las redes bayesianas y el conjunto de acciones posibles para arreglar los fallos. El método usado para la construcción de la red sigue las direcciones del modelo BN3M (Kraaijeveld et al., 2005) que se caracteriza por dividir sus nodos en tres grupos: evidencias, causas de fallo y contexto. En nuestro caso de estudio, las variables de contexto se han omitido para simplificar el modelo evaluado.

El diseño se comprueba con los operadores, para estar seguros de que se han entendido las reglas de negocio. Sólo después de esta realimentación, se puede comenzar a pensar en la arquitectura del sistema. El inventario de datos y equipos se construyó según un modelo simplificado, que se formaliza mediante una ontología cuyos detalles pueden encontrarse en García-Gómez et. al, 2009. En fibIT se utilizan las siguientes observaciones para realizar el diagnóstico: estado del servidor de vídeo, estado de la OLT, medidas del reflectrómetro, estado de las ONTs que comparten fibras y estado de los elementos del hogar. El estado operativo de las ONTs que cuelgan de la misma rama es muy importante para solucionar la limitación de la reflectrometría.

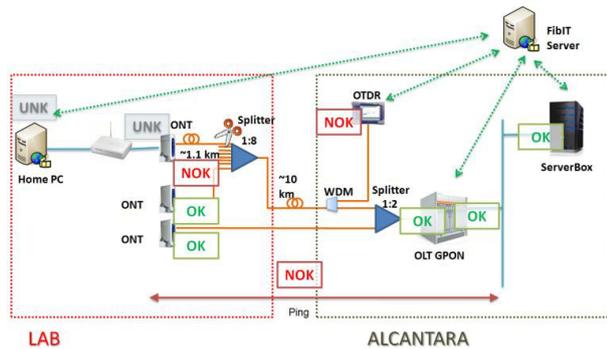


Figura 2: Escenario del piloto fibIT con un ejemplo de avería provocada.

Supóngase que un cliente reclama y que el reflectrómetro detecta un eco a 8 km. de la central, distancia que se sabe que corresponde al tramo entre el primer *splitter* y el segundo. Si

la mayoría de las ONTs que cuelgan del mismo segundo *splitter* están sin señal es muy posible que el corte esté afectando a la fibra que atiende al cliente.

3.2. Arquitectura

El prototipo funciona como un sistema *stand alone* con una interfaz web de operación. Se conecta a los elementos de red y a los dispositivos de medida para obtener los datos necesarios para el diagnóstico.

Los aspectos esenciales de la arquitectura *software* de fibIT son: uso de agentes distribuidos, representación semántica del conocimiento, diagnóstico distribuido colaborativo basado en redes bayesianas y actuación automática según el modelo BDI.

3.3. Red bayesiana

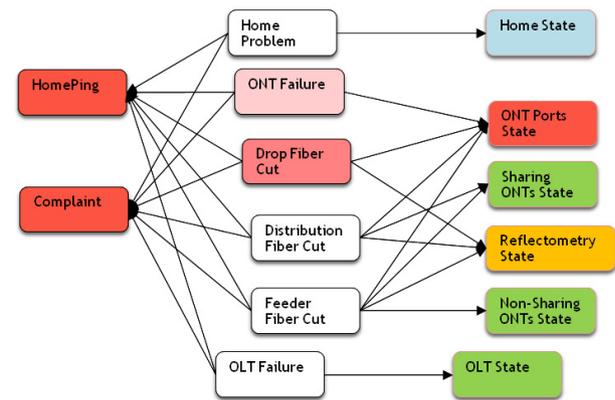


Figura 3: Red bayesiana de fibIT

En fibIT se usan redes bayesianas (Pearl, 1985) con el motor de razonamiento proporcionado por la plataforma de desarrollo propietario KOWGAR (Sedano et al., 2010). La figura 3 muestra la red principal para el diagnóstico de conectividad FTTH. Consta de tres tipos de nodos:

- Observaciones, que se obtienen de la red y de los equipos de medida.
- Hipótesis, cuya probabilidad se calcula en función de las observaciones. Representan posibles causas de fallo como un corte de fibra, avería en un puerto o mala configuración del *router*.
- Nodos auxiliares, que se emplean para modelar algunos aspectos específicos del escenario.

Los agentes que se despliegan en el hogar y que sólo tienen acceso a los equipos locales, emplean una versión reducida.

3.4. Diagnóstico

El módulo de diagnóstico se basa en la mencionada plataforma KOWGAR que consta de los siguientes componentes (fig. 4):

- Servidor Web: la operación humana se realiza con esta interfaz que permite lanzar diagnósticos y consultar todos los resultados almacenados. Las peticiones de diagnóstico desencadenan el procedimiento correspondiente en la nube de agentes.
- Base de datos: almacena las observaciones y diagnósticos y en el caso de fibIT se usa como inventario reducido.

- *IFAgent* (agente de interfaz de usuario): actúa como intermediario entre el servidor web y el resto de agentes.
- *Store Agent*: almacena el resultado del diagnóstico en la base de datos.
- *Route Agent*: determina qué tipo de acción se debe realizar ante una petición externa en función de los datos del inventario fibIT.
- *Switch Agent*: instancia la red bayesiana.
- *DiagnosisFthhGpon*: orquesta el procedimiento global de diagnóstico.
- *Knowledge Agent*: actualiza el conocimiento de la plataforma.
- *Observation Agents* (OntLanPortState, OntPonState, OltPonPortState, OltAggPortState): se encargan de recoger los datos de los equipos para enviarlos al agente de diagnóstico.
- *Broker agent*: maneja la ejecución de *scripts* en los equipos G-PON.
- *Script agents*: ejecutan un *script* específico.

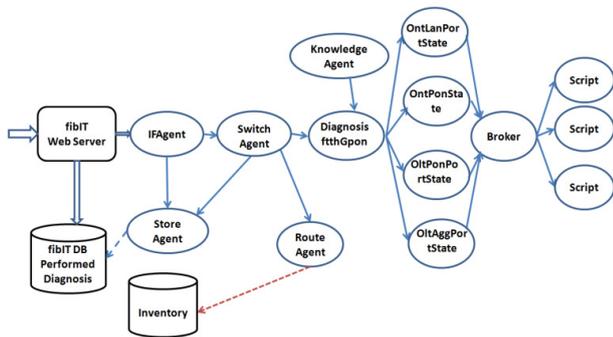


Figura 4: Diagrama de agentes en fibIT

El procedimiento de diagnóstico se desarrolla según esta secuencia:

1. Recolección de la información de inventario del escenario de la reclamación: topología, equipos y configuración de los elementos involucrados.
2. Selección del agente de diagnóstico en función del escenario. En el caso del prototipo se usa siempre *DiagnosisFthhGpon*, pero en futuras ampliaciones se contemplan otros.
3. Selección del test más adecuado teniendo en cuenta el coste predefinido, valor potencial de resolución de diagnóstico y disponibilidad.
4. Petición al agente de observación para que desencadene los procesos de lanzamiento de *scripts* y recogida de datos.
5. Cálculo de la inferencia bayesiana. Cada vez que finaliza un test los resultados se inyectan en la red, sin esperar a completar todo el ciclo. Si alguna hipótesis alcanza un grado de confiabilidad alto se detiene el proceso de diagnóstico, si no se vuelve al punto 3 lanzando otras pruebas.
6. Cuando termina el diagnóstico se notifica el hecho al módulo de autorreparación.

Los resultados se pueden consultar desde la interfaz de usuario. Como se puede apreciar en la figura 5, las conclusiones del diagnóstico se presentan junto con las observaciones detalladas y los datos de contexto procesados.

Un esquema visual ayuda a obtener una impresión rápida de la situación de los recursos. Sobre un diagrama simplificado del servicio se representan los valores de las observaciones, las pruebas llevadas a cabo y el estado de los elementos. El pictograma se basa en los que construyen los operadores de manera manual por lo que resulta muy intuitivo para ellos.

3.5. Autorreparación

El módulo de autorreparación se basa en el modelo *Belief-Desire-Intention* (Bratman, 1987). En esencia, proporciona un mecanismo para separar la inteligencia de selección de un plan de reparación de su ejecución.



Figura 5: Resultado de un diagnóstico en la interfaz de usuario.

Los agentes BDI son capaces de establecer un punto de equilibrio óptimo entre selección y acción. La confección de los planes de actuación es responsabilidad del programador. En un contexto de gestión de red como el que nos ocupa los *beliefs* pueden identificarse con los datos de configuración, rendimiento, estado, etc. Dependiendo de la capacidad de razonamiento de los agentes, pueden modelarse empleando ontologías o redes probabilísticas.

Los objetivos (*goals*) son responsabilidades que se asignan a los distintos agentes para garantizar condiciones de funcionamiento predefinidas (mantenimiento de la calidad de servicio, tiempo medio de reparación, etc.). Los planes, que deben definirse en la fase de programación, pueden incluir acciones colaborativas con otros agentes o acciones autónomas para acercar el sistema al estado deseable.

El subsistema de autorreparación de fibIT consta de un conjunto de agentes que trabajan de forma coordinada:

- *Listener agent*: está a la escucha de los resultados del subsistema de diagnóstico y dispara el proceso de autorreparación.
- *Coordinator agent*: orquesta el proceso. Conoce las acciones disponibles y en función de los planes secuencia las órdenes a los *worker agents*.
- *Repository agent*: accede a la librería de planes.
- *Worker agents*: actúan sobre los elementos gestionados (ONT, OLT, *router*) bajo petición del coordinador. Las acciones que contempla el prototipo son del tipo *reset* de un puerto, reconfiguración de dispositivo, apertura de un ticket de avería, etc.

Hay dos tipos de elementos de red: conexiones y dispositivos. Las conexiones son elementos pasivos (un cable UTP, un latiguillo de fibra). El prototipo no puede resolver problemas en las conexiones. Por el contrario, los dispositivos ofrecen numerosas opciones de actuación a los sistemas externos como fibIT.

Con la información disponible, el subsistema evalúa el estado global y decide cual es la mejor acción correctiva basada en el modelo BDI. Si es posible se hace de manera automática, si no, puede emitir un ticket de actuación para que un operador humano realice la acción correctiva (por ejemplo, “sustituir el conector entre ONT y *router*”)

El criterio principal para seleccionar la acción es el nivel de confianza del diagnóstico. Sólo las conclusiones fiables (certeza superior al 90%) desencadenan el proceso de autorreparación.

3.6. Componentes software

El prototipo fibIT se construye con elementos *Open Source*, y, en particular, con la extendida combinación LAMP (*Linux*, *Apache*, *MySQL*, *PHP*), a la que se añade Java como lenguaje de programación de los agentes inteligentes.

Estos se ejecutan sobre la plataforma *JADE/WADE* (Bellifemine et al., 2007). Las redes bayesianas se diseñan con *Genie* y la semántica con *Ontology Bean Generator*, un *plugin* de *Protégé* para *JADE*. El modelo BDI emplea agentes *Jadex* y *Jadex-Rules* como motor de razonamiento.

4. Resultados

La implementación de fibIT consumió 12 hombres/mes. Hemos simulado los fallos más comunes basándonos en las estadísticas de la red G-PON de *Telefónica España*. El más habitual es la incomunicación debida a problemas en la red del cliente. La segunda causa es el aumento de atenuación por suciedad en el conector de la ONT o por excesiva curvatura de la fibra. La tercera es el corte franco de la fibra. En este caso, aparecen las limitaciones de la reflectometría, ya que si el corte se produce después del primer *splitter*, se puede saber a qué distancia, pero no sobre qué fibra. En cualquier caso, el OTDR ayuda a confirmar que se trata de un problema de la fibra descartando otras posibles causas, y eso resulta de gran valor para un centro técnico que tiene que atender múltiples reclamaciones.

Los diagnósticos obtenidos con fibIT han sido acertados en el 95% de los tests. Este parámetro es fácilmente medible en un entorno de laboratorio como el descrito puesto que las averías se provocan de forma deliberada. En relación con otros escenarios en los que se emplea la misma tecnología cabe esperar un valor en el rango del 80%-90% sobre la red real. La medida de acierto en ese caso se basa en el análisis de la respuesta del cliente que

reclama y del técnico que maneja la avería. Estos datos han sido medidos de forma independiente por los centros usuarios de sistemas de diagnóstico construidos con la misma base tecnológica y empleados para resolución de averías ADSL y WiMax en España y VPN/Ethernet en la República Checa por el Grupo Telefónica. La existencia de causas de problemas no modeladas con detalle en la ontología de fibIT sería la principal fuente de reducción del porcentaje de acierto. Por ejemplo, en el entorno de prueba de laboratorio se han modelado los cortes francos de fibra pero en la realidad existe una casuística compleja de atenuaciones (por curvatura, suciedad en los conectores, fusiones imperfectas, etc.) que requerirían un refinamiento posterior de los pesos de la red.

Un diagnóstico fibIT se completa en 30 segundos por término medio. El ahorro que esta cantidad supone se pone de manifiesto al compararlo con los 25 minutos que lleva realizar las operaciones de consulta de datos, lanzamiento de scripts e interpretación. En relación con los otros escenarios mencionados, el tiempo de diagnóstico de fibIT está en el mismo rango de magnitud, en torno al minuto..

En cuanto a la autorreparación, es capaz de solucionar los problemas de configuraciones erróneas de *router* y ONT que se han utilizado como casos de estudio. El tiempo es despreciable, pues consiste en el envío de comandos a los equipos.

5. Conclusiones y próximos pasos

En esta comunicación breve hemos presentado la prueba de concepto fibIT que busca automatizar los procedimientos de operación de una red G-PON. Se basa en una plataforma de diagnóstico probabilístico de desarrollo propio, llamada KOWGAR y mejorada para esta ocasión con un subsistema de autorreparación que sigue el modelo BDI. El elemento clave son las redes bayesianas que permiten alcanzar conclusiones incluso cuando no todos los datos están disponibles. Los agentes son capaces de alcanzar resultados parciales y compartirlos entre ellos para obtener una visión global de la causa raíz de un problema.

Aunque fibIT trabaja sobre una planta muy reducida, la escalabilidad de la solución está prevista con la distribución de las funciones en la nube de agentes que crece conforme lo haga la red. Esta propiedad permite utilizar *hardware* de muy bajo coste.

La información se formaliza mediante ontologías que facilitan una sencilla adaptación a cada nuevo escenario de diagnóstico. Como resultado, se pudo desarrollar el sistema completo en un tiempo muy breve por un equipo de tres ingenieros de Telefónica I+D, apoyado por el Departamento de Ingeniería Telemática de la Universidad Politécnica de Madrid.

Los próximos pasos son la incorporación de técnicas de reflectometría más potentes para afinar la detección del punto de ruptura en el caso de cortes francos y la conexión del prototipo con los sistemas de gestión de *Telefónica*.

English Summary

A probabilistic approach to G-PON self healing.

Abstract

Fiber To The Home (FTTH) rollout is a priority for telecom operators to provide fixed broadband new services and improve

customer experience. G-PON is the most common technical choice that creates new challenges related to diagnosis and self healing. A probabilistic approach has been evaluated in a lab environment to overcome the uncertainties of this scenario, and results that is suitable for live network.

Keywords:

FTTH, G-PON, Bayesian Network, agents, self healing.

Referencias

- Badonnel R., State R., Festor O., 2006. Probabilistic Management of Ad-Hoc Networks, NOMS 2006, Vancouver, Canada.
DOI: 10.1109/NOMS.2006.1687564
- Barco-Moreno R., 2007. Bayesian modeling of fault diagnosis in mobile communication networks. Ph. D. dissertation, Universidad de Málaga, Spain.
- Bellifemine F., Caire G., Greenwood D., 2007. Developing Multi-Agent Systems with JADE, John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- Bratmann M., 1987. Intentions, Plans and Practical Reason. CSLI Publications, USA.
- Brunner M., Dudkowski D., Mingardi C., Nunzi G., 2009. Probabilistic Decentralized Network Management, Proceedings IEEE INM 2009, Hofstra University, Long Island, New York, USA, pp. 25-32.
DOI: 10.1109/INM.2009.5188783
- Carrera A., Iglesias C. A., García-Algarra J., Kolařík D., 2012. A real-life application of multi-agent systems for fault diagnosis in the provision of an internet business service. Journal of Network and Computer Applications.
DOI: 10.1016/j.jnca.2012.11.004
- Chen C., Nagi S., Clack C., 2009. Complexity and Emergence in Engineering Systems. Complex Systems in Knowledge based Environments: Theory, Models and Applications. Tolk, Andreas; Jain, Lakhmi C. (editors). Springer: New York, NY, USA.
DOI: 10.1007/978-3-540-88075-2_5
- Creaner M., Reilly J., 2005. NGOSS Distilled – The Essential Guide to Next Generation Telecoms Management. The Lean Corporation.
- Ding J., Krämer B., Xu S., H. Chen and Y. Bai, 2004. Predictive Fault Management in the Dynamic Environment of IP Networks, Proceedings IEEE Workshop on IP Operations and Management, pp. 233-239.
DOI: 10.1109/IPOM.2004.1547622
- Ding J., Jiang N., Li X., Krämer B., Davoli F., Bai Y., 2006. Construction of Simulation or Probabilistic Inference in uncertain and Dynamic Networks Based on Bayesian Networks, International Conference on ITS Telecommunications, pp. 983-986.
DOI: 10.1109/ITST.2006.288718
- Faloutsos M., Faloutsos P., Faloutsos C., 1999. On power-law relationships of the Internet topology, Proceedings of the conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communication, pp 251-262.
- García-Algarra J., Arozarena-Llopis P., García-Gómez S., Carrera-Barroso A., Toribio-Sardón R., 2011. A Lightweight Approach to Distributed Network Diagnosis under Uncertainty. In Intelligent Networking, Collaborative Systems and Applications. S. Caballé, F Xhafa and A. Ajith (editors). Springer, pp. 95-116.
DOI: 10.1007/978-3-642-16793-5_5
- García-Gómez S., González-Ordás J., García-Algarra J., Toribio-Sardón R., Sedano-Frade A., Buisán-García, F. KOWLAN: A Multi Agent System for Bayesian Diagnosis in Telecommunication Networks. Web Intelligence and Intelligent Agent Technologies, 2009. WI-IAT'09. IEEE/WIC/ACM International Joint Conferences on. Vol. 3, pp. 195-198.
- ITU-T, 1989. Principles for a Telecommunications Management Network, Recommendation M.3010.
- Lee G. J., 2007. CAPRI: A Common Architecture for Distributed Probabilistic Internet Fault Diagnosis. Ph. D. dissertation, CSAIL, MIT.
- Mošták R., Spahija B., Deljac Ž., 2010. Fault diagnosis in Optical access network using Bayesian Network. SoftCom 2010. Proceedings, pp. 342-345.
- Pearl J., 1985. Bayesian networks: A model of self-activated memory for evidential reasoning, UCLA Report CSD-850017.
- Prieto A., Gillblad D., Steinert R., Miron A., 2011. Toward decentralized probabilistic management, IEEE Communications Magazine, vol.49, no. 7, pp. 80-86.
DOI: 10.1109/MCOM.2011.5936159
- Sedano A., González-Ordás J., Arozarena P., García-Gómez S., Carrera-Barroso A., 2010. Distributed Bayesian Diagnosis for Telecommunication Networks, Advances in Practical Applications of Agents and Multiagent Systems: 8th International Conference on Practical Applications of Agents and Multiagent Systems.
DOI: 10.1007/978-3-642-12384-9_28