

Buran

Número 27 - Año 18 - Mayo 2013

<http://ieee.upc.es>

Optimización de la composición de redes a partir de técnicas de Inteligencia artificial

Calidad de servicio (QoS) basándose en redes de nueva generación

GPON Unbundling for Multioperator Access

Implementación de un Espectrómetro con el módulo TMS320VC5505 eZdsp de Texas Instruments

Realimentación visual para brazos manipuladores.
Un caso práctico

Generación eléctrica en el Chad

Superredes, las redes eléctricas del futuro

Hombres escondidos en fórmulas

PISA con empatía



IEEE

Barcelona IEEE Student Branch

EDITORIAL

Bienvenido, querido lector, a esta nueva entrega de la revista Buran. Ha pasado un año y medio desde nuestra última publicación, y aquí seguimos con las mismas ganas y la misma convicción de realizar nuestras actividades.

Debemos recordar que la producción de esta revista no habría sido posible sin la inestimable colaboración y el duro trabajo del equipo de edición de Buran, integrado en su totalidad por miembros de la rama de estudiantes del IEEE de Barcelona. A ellos agradezco el gran esfuerzo y las ganas para hacer que, a día de hoy, podamos disfrutar de ésta nueva entrega. Es con el lanzamiento de la edición electrónica que queremos llegar al mayor número de lectores posibles ampliando, así, nuestros horizontes.

Cabe mencionar que la rama se encuentra, a día de hoy, en movimiento constante, formada por miembros con ambición y ganas de emprender actividades que ayuden a la divulgación de los conocimientos tecnológicos. Entre el elenco de actividades que se realizan actualmente encontramos las jornadas de conferencias, las visitas a emplazamientos tecnológicos e incluso los cursos y talleres que realizamos, además de esta publicación que hoy podemos presentarte.

Quisiera agradecer a los colaboradores y autores el haber aportado su trabajo y dedicación, habiendo hecho posible la entrega de éste nuevo número de Buran. Queremos mencionar, también, la ayuda que nos brinda la ETSET de Barcelona a la hora de realizar nuestras actividades, ofreciéndonos la difusión que necesitamos.

Sin más dilación esperamos que disfrutes de la lectura de ésta revista por la que, entre otras actividades, podemos sentirnos orgullosos de pertenecer a la rama de estudiantes del IEEE de Barcelona.

Santiago Pascual de la Puente
Presidente de la Rama

COORDINACIÓN

BARCELONA

Carles Carruesco
Ana García del Molino
Marc Melo
Guim Roselló

EDICIÓN BARCELONA

David Carmona
Carlos Ciller
Llorenç Garcia Cases
Ana García del Molino
Guim Roselló

REVISIÓN

David Carmona
Carles Carruesco
Ana García del Molino
Roger Olivé
Santiago Pascual
Guim Roselló

DISEÑO PORTADA

Guim Roselló

AGRADECIMIENTOS

IEEE Sección España

DEPÓSITO LEGAL // ISSN

B-19.950-96 // 2013-9713

La organización se reserva el derecho de publicar los artículos. La opinión expresada en los artículos no tiene por qué coincidir con la de la organización.

Agradecemos las colaboraciones hechas desinteresadamente, y a causa de la falta de espacio, pedimos disculpas a todas aquellas personas a las cuales no se les ha publicado su colaboración. Esperamos que en un próximo número tengan cabida.

SUMARIO

- 2 Editorial
- 3 Sumario
- 4 Ramas de Estudiantes del IEEE
- 5 Optimización de la composición de redes a partir de técnicas de Inteligencia artificial
- 16 Calidad de servicio (QoS) basados en redes de nueva generación
- 23 GPON Unbundling for Multioperator Access
- 30 Implementación de un Espectrómetro con el módulo TMS320VC5505 eZdsp de Texas Instruments
- 38 Realimentación visual para brazos manipuladores. Un caso práctico
- 52 Generación eléctrica en el Chad
- 56 Superredes, las redes eléctricas del futuro
- 60 Hombres escondidos en fórmulas
- 62 PISA con empatía



Buran se fundó en Barcelona en la ETSETB de la UPC, en marzo de 1993.
Se revisa por la Rama de Estudiantes del IEEE de Barcelona y edita e imprime en Barcelona.





RAMAS DE ESTUDIANTES DEL IEEE

¿Qué es el IEEE?

IEEE son las siglas de *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, organización técnica y profesional de ámbito mundial dedicada a dar soporte a la teoría y aplicaciones de la ingeniería eléctrica, electrónica y de la informática. Desde su fundación, en el año 1884, el IEEE se ha ido expandiendo por más de 150 países en todo el mundo y ha alcanzado un número de asociados de más de 320.000, de los cuales unos 50.000 son estudiantes. El IEEE es actualmente la sociedad técnica con mayor número de socios del mundo, dando cabida a ingenieros, informáticos, físicos y matemáticos.

El IEEE promueve el desarrollo de todos los campos relacionados con la tecnología, la informática y la ingeniería, tanto en sus vertientes teóricas como prácticas. Para ello se divide en sociedades especializadas en los sectores más novedosos en el panorama tecnológico actual. Además de editar alrededor del 25% de las publicaciones técnicas a nivel mundial en los campos de ingeniería eléctrica, electrónica e informática, organiza conferencias, symposiums y encuentros locales y proporciona programas educacionales para mantener a sus miembros en la vanguardia de los avances tecnológicos y científicos. Con todo ello el IEEE beneficia a la sociedad, incide en la mejora de la profesión y aumenta el nivel de formación de sus asociados.

¿Qué son las Ramas de Estudiantes?

El IEEE promueve y patrocina más de 700 Ramas de Estudiantes en todo el mundo, dando la posibilidad a futuros profesionales de desarrollar las habilidades que necesitarán para moverse más cómodamente en el complejo mundo laboral actual. Ser miembro de las Ramas de Estudiantes, recibir las publicaciones periódicas del IEEE y colaborar en las actividades de cada Rama durante la época de estudiante proporciona formación y experiencia en el estado actual de la tecnología y la industria en todo el mundo, además de poner en contacto a los estudiantes con ingenieros profesionales.

Buran 27

Buran nació en el seno de la Rama de Estudiantes del IEEE de Barcelona, con el objetivo de divulgar temas tanto científicos como tecnológicos y humanísticos, siempre dentro de la filosofía del IEEE, y de ser un portavoz de las actividades docentes, de investigación o sociales que se producen en la Universidad.

En particular, Buran quería ser la revista para los estudiantes, y es por ello que en este número nos sentimos orgullosos de que tanto profesores como compañeros nuestros colaboren con nosotros.

El próximo número de Buran saldrá en 2014, así que desde aquí queremos animaros a escribir. Podéis obtener la información necesaria en el Call for Papers que se incluye en este número. También podeis escribirnos a: buran@ieee.upc.edu

Muchas gracias por vuestro apoyo incondicional. Esperamos seguir mereciendo vuestra confianza.

Para contactar con la Rama de Estudiantes de Barcelona

Rama de Estudiantes del IEEE de Barcelona.

Despacho S-105. Edificio Omega

Campus Nord de la UPC

Tel: 93 413 76 56

C/Jordi Girona, 1-3 s/n

ieee@ieee.upc.edu

08034 BARCELONA

<http://ieee.upc.es>

Información de Archivo de BURAN:

Codified with EAN-13



9 772013 971004

Optimización de la composición de redes a partir de técnicas de Inteligencia artificial

Antoni Barba Martí, Ángel Pallejà Muñoz

Departamento de Ingeniería Telemática

Universidad Politécnica de Cataluña

Jordi Girona, 1-3 Edificio C3. 08034

telabm@entel.upc.edu ; apalleja@entel.upc.edu

Resumen- las redes de nueva generación definen una iniciativa europea para la nueva generación de comunicaciones móviles. En estos entornos, la composición de redes heterogéneas para posibilitar la comunicación entre estas con calidad de servicio es primordial. En este artículo se presentan diferentes propuestas iniciales para el diseño de diferentes escenarios basándose en el uso de técnicas de inteligencia artificial.

La composición de redes de nueva generación NGN puede realizarse a partir de la selección de estaciones radioeléctricas con los servicios solicitados por el usuario y que pueden proporcionarse de acuerdo a una calidad de servicio. En caso de no estar disponibles se proporcionaran mediante la red de forma ubicua. Esta ubicuidad se distribuye mediante la composición de redes NGN utilizando como herramientas las redes neuronales y algoritmos genéticos. Se van obteniendo en cada interacción las celdas con los servicios mas adecuados a las demandas de los usuarios alterando la topología de la red, la radiación de las antenas o la configuración y encaminamiento de las comunicaciones.

Palabras Clave: Redes de nueva generación NGN, Inteligencia artificial, redes neuronales RN, algoritmos genéticos AG.

I. INTRODUCCION

En la planificación de sistemas de telecomunicaciones el diseño de la configuración necesaria para prestar un servicio de manera óptima respecto de algún criterio de desempeño es fundamental. Por ejemplo, si el criterio de desempeño[1] es el costo, un problema a resolver es encontrar una topología de red que interconecte sus nodos al menor costo y que tenga la propiedad de asegurar la comunicación fiable de datos.

Actualmente, las prestaciones y economía de Gigabit Ethernet y 10GE empujan hacia cambios importante tanto en redes 3G como las de un futuro inmediato 4G [2], cambios provocados por los drásticos incrementos de ancho de banda y escalabilidad así como la facilidad de gestión y el bajo coste respecto a los commutadores ATM y a los equipos de Jerarquía Digital Síncrona (SDH). Dichos avances, junto con la creciente demanda de ancho de banda por las aplicaciones multimedia, plantean también la necesidad de disponer de redes Ethernet autoconfigurables, de altas prestaciones, escalables a grandes tamaños de red y de coste reducido.

Ethernet se ha consolidado en los últimos años como el estándar predominante en las redes locales de ámbito empresarial, metropolitano , etc. Frente a FDDI, ATM, SDH, DQDS y otros, por sus altas prestaciones, compatibilidad con equipos Ethernet de distintas velocidades, economía, capacidad de autoconfiguración e independencia del direccionamiento IP. Ethernet recordemos inicialmente 3Mbps, ha evolucionado en capacidad desde 10Mbps a 10Gb en aproximadamente 24 años y de los simples Bridges que unían las redes locales se ha pasado a los commutadores N*10 Gigabit. Su evolución se acerca a la conocida “Ley” de Moore de duplicación de la capacidad de los dispositivos semiconductores cada 24 meses.

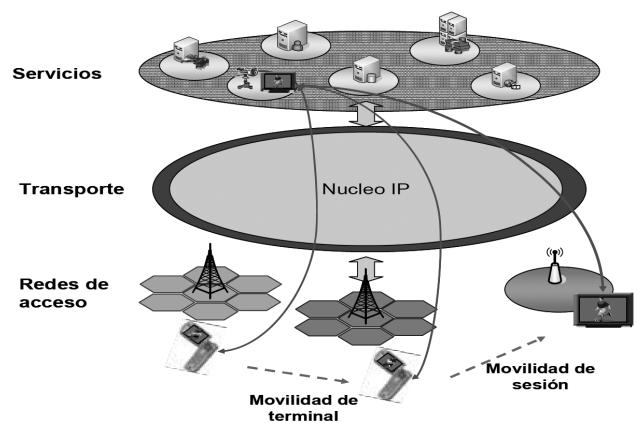


Fig1. Visión del entorno de generaciones móviles de próxima generación

Esta evolución esta planteando cambios importantes en la arquitectura de redes heterogéneas. Las redes heterogéneas basadas en Ethernet de hacerse cada vez más extensas, veloces y complejas, requieren de nuevas funcionalidades en los nodos que garanticen escalabilidad, rendimiento y seguridad requiriendo a la vez mínima gestión y configuración.

La integración de esas redes de acceso pertenecientes a diferentes dominios de gestión, pertenecientes a diferentes operadores se basará en el concepto de redes “Todo-IP” que ha sido sujeto de estudio [12]. Los paquetes del protocolo IP (IP) atravesarán redes de acceso y el núcleo de red sin ninguna conversión de protocolos [11]. La incorporación del protocolo IP permitirá extender el entorno de Internet hacia el ámbito de las redes móviles como hasta ahora se ha ido produciendo con el concepto de Internet móvil. El concepto Todo-IP permitirá una comunicación transparente y el desarrollo de nuevas soluciones de servicios innovadores con requerimientos de calidad de servicio (CdS) [13]. Sin embargo, mantener la continuidad y calidad del servicio puede verse afectada por factores como la autenticación y la movilidad. El procedimiento de autenticación puede impactar en el retardo final de un traspaso y como consecuencia, puede afectar la continuidad del servicio. La necesidad por mantener la continuidad y el grado de servicio adecuado demandan una rápida autenticación, lo cual es parcialmente difícil en escenarios de traspaso inter-dominio. Ver figura 1

El problema planteado en este artículo consiste en definir una arquitectura de alta capacidad adecuada para las redes heterogéneas y que a la vez permita simplificar la configuración y mantenimiento de la red, optimizando la infraestructura de comunicaciones mediante la reducción del coste de los equipos. Se trata de definir herramientas, algoritmos y arquitecturas de funcionalidad añadidas que mantengan las ventajas de los dispositivos de red como Bridges eliminando sus inconvenientes y sus protocolos de funcionamiento que implementan redes Ethernet lo más autoconfigurables posible.ver figura2.

Ethernet precisa introducir encaminamiento para escalar con granulidad fina y fiabilidad. Por lo visto parece que debe utilizarse encaminamiento en capa

dos sobre direcciones jerárquicas mediante protocolos que coexistan de forma integrada con los protocolos existentes de IP y de comutadores. Esto permitiría una Ethernet global capaz de escalar a redes de cualquier tamaño e implementar encaminamiento intradominio e interdominios.

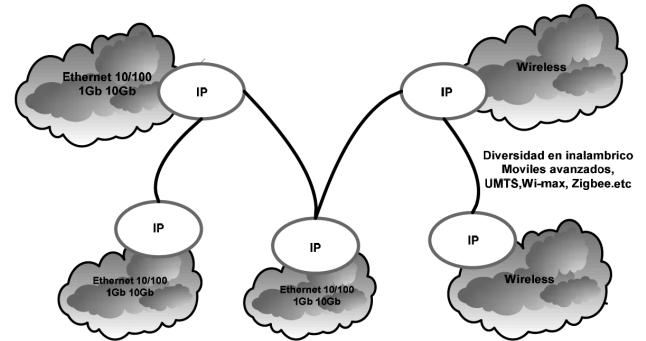


Fig2. IP y tecnologías subred hoy

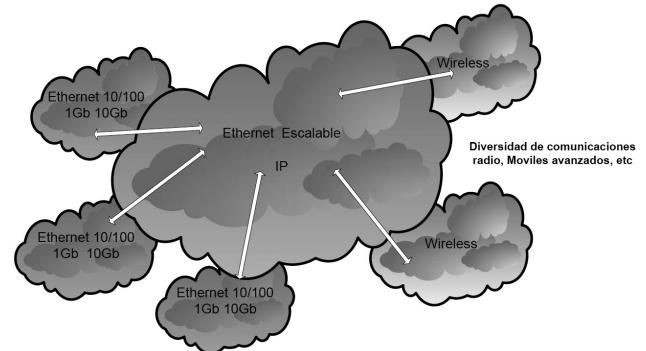


Fig3. Arquitectura hipotética con IP reducida y Ethernet escalable jerárquica

II. REDES NUEVA GENERACIÓN NGN

2.1 Composición de redes

La rápida evolución de las tecnologías de la comunicación y la amplia red de servicios necesaria para el mantenimiento de esta originaron las tecnologías descentralizadas: esto permite que la sobre carga de los sistemas no sea un problema y que el numero de usuarios con acceso a cualquier tipo de recurso sea ampliable.

La tecnología que dará soporte a estos entornos se vienen fraguando desde hace ya varios años: redes cableadas e inalámbricas, computación móvil y ubicua, nuevos dispositivos de interacción, modulos "vestibles", redes de sensores, sistemas de

bajo consumo, etc. Sin embargo, aún es necesario resolver retos de miniaturización, disminución del consumo, seguridad fiabilidad, etc.

El concepto de red NGN define un conjunto de funciones de soporte de las cuales se exige que cumplan con las necesidades de negocio de los operadores, entidades comerciales y también con los usuarios finales.

Según la Recomendación Y.2001 de ITU-T, la NGN se define como «una red basada en paquetes capaz de ofrecer servicios de telecomunicaciones, utilizar las múltiples tecnologías de banda ancha, proporcionar transporte con Quality of Service, QoS, y conseguir que las funciones relacionadas con el servicio sean independientes de las tecnologías del transporte subyacentes.

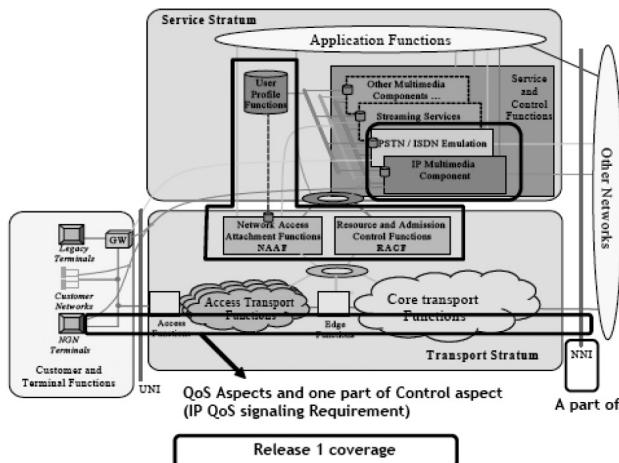


Fig.4 Concepto y aspectos característicos de la arquitectura NGN

La figura 4, es el concepto de red de conectividad totalmente heterogénea y compatible. Esta red posibilita a los usuarios el acceso a otras redes y elegir los proveedores y servicios.

Además, soporta la denominada movilidad generalizada, la cual permite una oferta de servicios ubicua y consistente para los usuarios. Las características fundamentales son:

- Transferencia basada en paquetes.
- Soporte de un amplio rango de servicios y aplicaciones, tanto en tiempo real como en tiempo no real, streaming y multimedias.

- Separación de las funciones del control del transporte y del servicio.

- Desarrollo de servicios a través de interfaces abiertas.

- Capacidad de banda ancha con QoS extremo a extremo.

- Trabajo integrado con redes precedentes (PSTN/ISDN y otras) a través interfaces abiertas.

- Movilidad generalizada, tanto de usuarios como de dispositivos a través de diferentes tecnologías de acceso sin interrupción del servicio.

- Acceso de los usuarios a servicios ofrecidos por diferentes proveedores.

- Variedad en los esquemas de identificación de usuarios y dispositivos.

- Trabajo con un mismo perfil de servicio para un usuario en toda la red.

- Convergencia de los servicios fijos y móviles.

- Independencia de las funciones de un servicio de las tecnologías de transporte subyacentes.

- Soporte para múltiples tecnologías de última milla.

- Cumplimiento de todos los requisitos reguladores (comunicaciones de emergencia, seguridad, privacidad, interceptación legal de contenidos)

2.2 Escenario y problemáticas

Tradicionalmente las soluciones de movilidad se ocupan principalmente de entrega de la terminal de un usuario entre dos estaciones base un operador controlado por la infraestructura causados por el movimiento físico del usuario. Sin embargo, en los futuros escenarios de redes NGN el término “movilidad” ha de ser tratada en un sentido mucho más amplio e incluye las reacciones del sistema a los cambios en el usuario y los entornos de red, incluidos los cambios en la radio y los recursos de la red comercial.

Así pues como consecuencia, ya no es posible prever un único paradigma de movilidad que puede hacer frente a este conjunto diverso de las necesidades. En cambio utilizando técnicas de inteligencia artificial podemos ayudar a optimizar toda una serie de inconvenientes comentados anteriormente esto es.

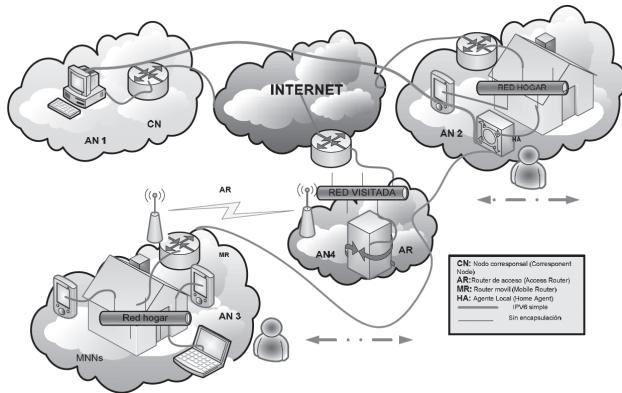


Fig5.escenario de red NGN sin ayuda de inteligencia artificial

La tabla 1 describe aproximadamente la influencia de la optimización de las operaciones en la planificación i gestión de redes de distribución NGN en función de la demanda.

DEMANDA de DISTRIBUCION	OFERTA de distribucion	OPTIMIZACIÓN
Demanda, aleatoria y frecuencia variable	Tamaño y dimensionado de red	Numero y características de red
Diferentes puntos de servicio	Niveles de servicio prestado proveedor	Diseño y programación de redes NGN en función proveedor
Puntos de servicio con dispersión geográfica variable	Políticas de precios y comunicación	Planificación equipamientos de NGN proveedor
Demandas latentes por ausencia de servicio	Satisfacción de la demanda latente	Costes de explotación de red
Restricciones horarias de servicio en función de clases	Promoción de puntos de distribución favorables	
	Eliminación de distribución de puntos desfavorables	

Tabla 1: Idea planificación y Gestión red NGN

III APPLICACIÓN DE MECANISMOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL A LA COMPOSICIÓN DE REDES.

¿Podría ser posible definir un modelo de información que sea lo suficientemente general como para resolver un conjunto amplio de problemas que se puedan acercar lo más posible hacia situaciones reales?

En esta hipótesis de estudio lo que pretendemos es establecer diversos conceptos necesarios para determinar el inicio de servicio y la definición de una función económica capaz de evaluar los ingresos y los costes de las operaciones de distribución de los diferentes paquetes ofrecidos por los diferentes operadores... en cuanto a distribución de información. Para ello intentaremos en la medida de lo posible utilizar diferentes cálculos de optimización para luego poder extraerlo al concepto inteligente (redes neuronales + AG).

Así pues la planificación y la gestión de redes de distribución NGN exige disponer de técnicas eficientes de optimización de rutas. Hay que tener en cuenta que el sistema de optimización de rutas disponible, no solo afecta al desarrollo de operaciones sino, también las decisiones de organización y estrategias como el tamaño óptimo de diseño de red proveedor–usuario, estimación de costes, políticas de publicidad y desvinculación de servicio (por cambio de proveedor).

Por ejemplo, es habitual que en función de la competencia que existe los proveedores de servicio lancen toda una serie de paquetes de tarificación, los precios se suelen fijar con cierta previsión pero, a veces mucho antes que la demanda de servicio sea conocida, siendo a veces frecuentes las cancelaciones de última hora y la contrata hacia nuevos clientes. Teniendo en cuenta que: *Si el número de usuarios que debe disfrutar de los servicios ofrecidos por los proveedores es pequeño, en función de la máxima capacidad de carga de la red óptima a la distancia correspondiente, podemos decir que los beneficios o pérdidas generadas por ese mismo servicio pueden depender en gran medida de la eficiencia del sistema de optimización de rutas.*

No obstante, la necesidad de encontrar soluciones basada en las cuestiones mencionadas anteriormente, han conducido a los investigadores a la utilización de la Inteligencia Artificial, es decir a la utilización de heurísticas y meta heurísticas que permitan, cuando no obtener el óptimo global, encontrar buenas soluciones. Así la utilización de redes neuronales, algoritmos genéticos.

En esta sección se describe en forma general como herramienta de trabajo para el problema planteado RN, AG .

3.1 Redes neuronales

Las redes neuronales artificiales [4] constituyen un campo multidisciplinar muy activo en el que confluyen investigaciones procedentes de muy diferentes áreas sus características de procesamiento distribuido, paralelo y adaptativo las convierten en las herramientas indicadas para tratar problemas de información masiva, distorsionada redundante imprecisa. ver figura 6

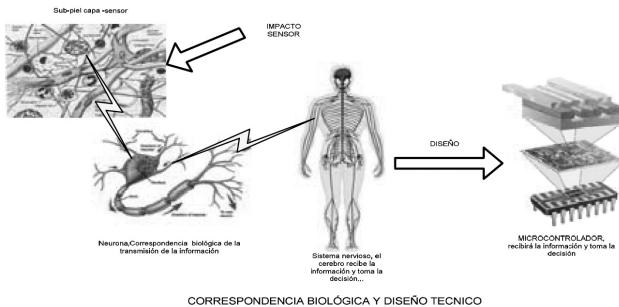


Fig 6. Correspondencia biológica y diseño artificial

Una red neuronal presenta además un grado de adaptabilidad que se concreta en las capacidades de aprendizaje y generalización. Por aprendizaje entendemos la capacidad para recoger información de las experiencias y utilizada para actuar ante situaciones futuras. La generalización está íntimamente relacionada con el aprendizaje, que podría definirse como la capacidad para abstraer la información útil, más allá de los casos particulares. De esta manera, la red neuronal es capaz de responder ante casos desconocidos de manera apropiada.

3.1.1. Arquitectura de red neuronal competitiva – red de kohonen.

Existen evidencias que demuestran que en el cerebro hay neuronas que se organizan en muchas zonas, de forma que las informaciones captadas del entorno a través de los órganos sensoriales se representan internamente en forma de mapas dimensionales.

A partir de estas ideas T.Kohonen presentó en 1982 un sistema con un comportamiento semejante. Se trataba de un modelo de red neuronal con capacidad para formar mapas de característica similar a como ocurre en el cerebro. El objetivo de Kohonen era demostrar que un estímulo externo (información de entrada) por

sí solo, suponiendo una estructura propia y una descripción funcional del comportamiento de la red, era suficiente para forzar la formación de mapas.

En líneas generales, las redes entrenadas mediante esta regla se caracterizan por diferentes factores: por una parte, tratan de asociar vectores de entrada a patrones de salida. En otro sentido, el aprendizaje es sin Supervisar y por último las estructuras de las redes las forman solamente 2 capas (entrada y salida). Existen 2 conceptos fundamentales en que se basa esta regla de aprendizaje: Aprendizaje Competitivo y Auto organización.

Esta idea se basa en la existencia de una cierta competitividad entre los PE de la capa de salida por la oportunidad de entrenarse(aprender). Esto, se refiere a que, el PE que produce la salida mayor se le considera Ganador, y tiene la capacidad de inhibir a los otros PEs (no presentan activación: salida nula). Todo ello conlleva que solamente los pesos del PE ganador podrán ser ajustados.

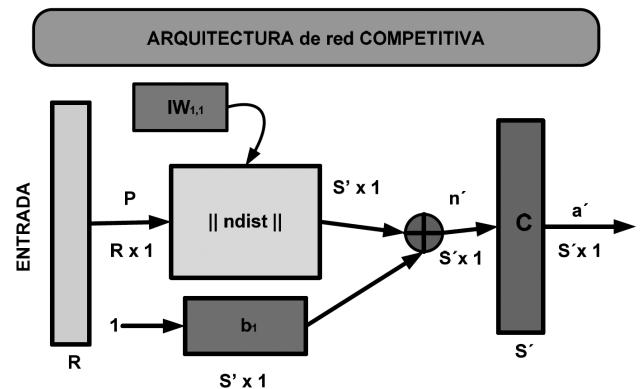


Fig 7. arquitectura competitiva estilo kohonen-matlab

La $\| \text{ndist} \|$ en el diagrama de bloques de esta figura acepta la entrada del vector (P) y la entrada de la matriz peso $IW1,1$ y produciendo un vector teniendo $S1$ elementos.

Los elementos son negativos de la distancia entre el vector de entrada y vectores i $IW1,1$ formados desde la para la entrada peso matriz.

La red de entrada $n1$ para que una capa competitiva es computada por la negativa distancia entre el vector entrada p y el peso del vector añadiendo las bias b . Ahora bien si todas las bias son cero, el máximo

que puede tener la red de entrada neurona será 0. Esto ocurre cuando la entrada del vector p es igual a las neuronas de los vectores de entrada.

La función de transferencia para la arquitectura competitiva acepta una red vector entrada para una capa y retorna neuronas de salida de 0 para todas las neuronas excepto para la ganadora, la neurona asociada con el más positivo elemento de red de entrada esto es n1 . Los ganadores de salida son 1.

La velocidad de aprendizaje suele disminuir con el tiempo, hasta que toma un valor próximo a 0 en cuyo caso el aprendizaje finaliza.

La utilidad de sistemas que utilizan para su entrenamiento este tipo de regla, está en tratar de asociar cada PE de la capa de salida a un grupo de vectores de entrada, con una cierta similitud, generando de tal manera clases o clusters.

Si existen más PE en la capa de salida que clases de patrones de entrada, pueden suceder dos cosas: la primera es que queden PE inactivos, es decir sin asociar a ninguna clase y por otro lado, que una clase tenga asociados más de un PE.

Normalmente los patrones de entrada se Normalizan antes de entrar al sistema, la razón es la siguiente: El PE ganador se determina calculando una medida parecida entre el patrón de entrada y los vectores de pesos. Dicha similitud se calcula empleando, normalmente, la Distancia Euclídea y ésta no sólo compara magnitudes entre vectores sino, también la orientación espacial.

Así pues utilizaremos el mismo concepto de red para SOFM que no es más que el concepto de mapas autorganizativos donde aprenden a clasificar los vectores de entrada según se agrupen en el espacio de entrada. Definiendo diferentes capas competitivas entre las neuronas de vecindad aprendiendo ha autoorganizarse y a reconocer secciones vecinas del espacio.

Los mapas autoorganizados aprenden ambos la distribución (como hacer capas competitivas). Hay que tener en cuenta que partirán de una topología de terminada de red. Puede ser asumible para un planteamiento

de un escenario donde existen diferentes AN's determinados , de manera que SOFM podrá ayudar en la toma de decisiones en cuanto a topología y distancia.

Para ello utilizaremos matlab y sus diferentes funciones aplicadas a redes neuronales gridtop, hexagonal o randtop podrán mostrar las neuronas orientadas en un enrejado de red partiendo de una topología totalmente aleatoria.. Las distancias entre neuronas se cuentan partiendo de sus posiciones con una función de distancia:dist,boxdist,linkdist i mandist.

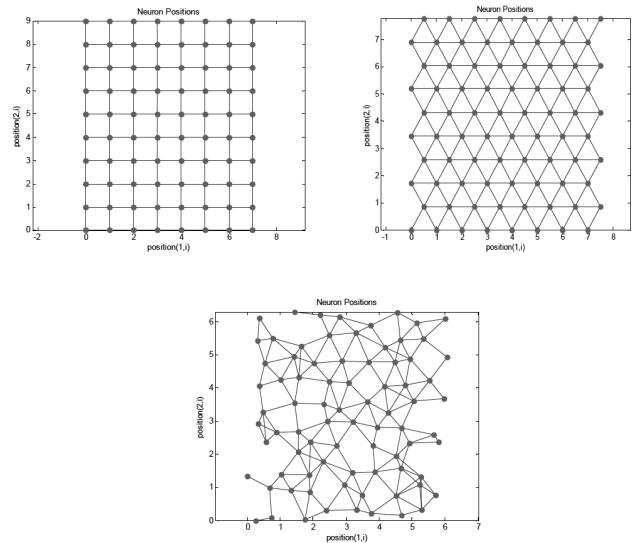


Fig 8. idea de evolución i optimización de los pesos de red, cercanía escenario de redes con varias AN a) muestra de neuronas en red con topología gridtop, b)topología de neuronas en hexagonal c) creación de neuronas aleatorias N partiendo de la función randtop.simulado con matlab

A continuación se comentarán brevemente la idea de trabajar con algoritmos genéticos para el entrenamiento de las redes neuronales anteriormente mencionadas.

3.2 Algoritmos genéticos

Los algoritmos evolutivos (AE's) son técnicas de búsqueda que intentan simular los mecanismos de evaluación natural, resultantes de la adaptación de los seres vivos del medio ambiente, para solucionar problemas de optimización. Esta simulación establece analogías entre los (AE's) y los mecanismos que provee la naturaleza buscando adaptar soluciones potenciales (cromosomas o individuos) a un medio en función de su fitness o ajuste.

Esto implica que en general, un AE puede resolver problemas de optimización de funciones sin la exigencia necesaria de continuidad ni derivabilidad.

El funcionamiento de los (AE) se basa en la modificación interactiva de una población de individuos candidatos a solución mediante el uso de operadores genéticos.

El mecanismo de resolución de problemas evolutivos puede esquematizarse en la figura 9.

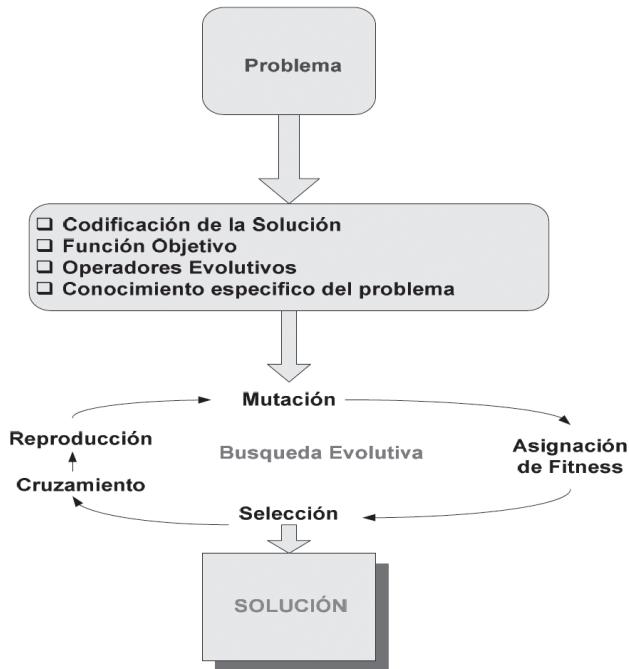


Fig.9. Esquema de funcionamiento de un AE

3.2.1. Algoritmos Evolutivos Secuenciales

Los algoritmos evolutivos imitan el proceso de evolución natural, el principal mecanismo que guía la aparición de estructuras orgánicas complejas y bien adaptadas. De forma muy simplificada, la evolución es el resultado de las relaciones entre la creación de nueva información genética y los procesos de evaluación+selección.

Los AE son algoritmos estocásticos que mantienen una población de n individuos, esto es:

$$P(t) = \left[X_1^t, \dots, X_n^t \right] \quad (1)$$

Para cada interacción t, cada individuo representa una solución potencial al problema a tratar la cual es implementada como alguna (posiblemente compleja) estructura de datos D.

Cada solución x_i^t es evaluada con alguna medida de su aptitud. Posteriormente se seleccionan los individuos de la población para conformar la población intermedia(o conjunto de apareamiento) que es transformada por la acción de los llamados operadores genéticos para luego aplicar un mecanismo de inserción que arrojará como resultado una nueva población (interacción t+1).

Los operadores genéticos son transformaciones que tienen lugar sobre los individuos. Algunos miembros sufren transformaciones personales mi (mutación), que crean un nuevo individuo (mi :D→D) y transformaciones de orden más alto cj (tipo cruzamiento) que crean nuevos individuos combinando partes de algunos (dos o más) individuos esto es:

$$c_j : D \times D \dots \times D \rightarrow D \quad (2)$$

El algoritmo se ejecuta para cierto número de generaciones o hasta que satisface algún criterio de detección:

```

AE simple
t=0 ;
iniciar P(t);
hacer_mientras t<tmax
    t=t+1;
    Selección (P(t)) desde P (t-1);
    Cruzamiento (P (t));
    Mutación (P(t)) ;
fin_de_hacer
fin

```

Tabla 2. Idea algoritmo secuencial

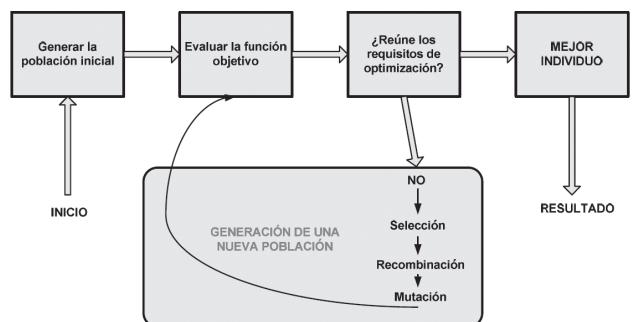


Fig.10. estructura de un AE de una única población



Un algoritmo evolutivo de una única población figura 10 es potente y funciona bien en una amplia variedad de problemas, pero es posible obtener mejores resultados introduciendo múltiples subpoblaciones. Estos desarrollan algunas generaciones (igual que en la población única) y luego intercambian individuos en subpoblaciones. Este modelo generado que podríamos llamar multi-poblacional es más parecido a los procesos naturales ver figura 11.

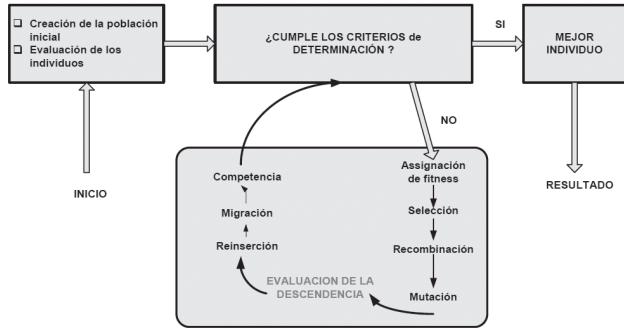


Fig11. estructura AE con múltiples poblaciones

3.2.2.Algoritmos evolutivos paralelos

La ejecución real de un algoritmo evolutivo secuencial requiere de una población de soluciones tentativas que representan puntos del espacio de búsqueda, sobre las que se realizan operaciones para guiar la búsqueda. En la práctica, esto supone que un AE utiliza recursos de computación como memoria física y tiempo de procesador de forma considerable.

Existen básicamente dos enfoques para disminuir el tiempo de ejecución real.(1)disminuir de alguna manera el numero de evaluaciones necesario para alcanzar una solución y (2) ejecutar el algoritmo en una maquina paralela . Así pues los modelos paralelos de estos algoritmos son interesantes porque consiguen ambos objetivos, ya que modifican el comportamiento típico del algoritmo secuencial equivalente mediante el uso de una población estructurada.

La inclusión del paralelismo en las operaciones de un AE da lugar a un AE paralelo (AEP) [9-10]. Un AEP permite pues utilizar poblaciones de mayor tamaño, resolver problemas de mayor dimensión y complejidad, y reducir el tiempo real de espera por una solución. Además de estas ventajas planteadas globalmente hay que considerar que algunos tipos de AEP's pueden

cambiar su comportamiento debido a la forma especial de inclusión del paralelismo. Por el momento, ya disponemos de los elementos mínimos para delinejar el funcionamiento de un algoritmo evolutivo paralelo (ver tabla3) a partir de la versión secuencial

```

AEP
 $t=0;$ 
iniciar [ $P^i(t^i)$ ];
evaluar [ $P^i(t^i)$ ];
hacer_mientras
 $P^i(t^i)$  := selección_pareja [ $P^i(t^i)$ ];
 $P^i(t^i)$  := recombinación [ $P^i(t^i)$ ];
 $P^i(t^i)$  := mutación [ $P^i(t^i)$ ];
evaluar [ $P^i(t^i)$ ];
 $P^i(t^i)$  := comunicación [ $P^i(t^i)$ ] u AEP $^i$ ;  $P^i(t^i)$ ; //interacción vecindad
 $P^i(t^i+1)$  := selecc_entorno [ $P^i(t^i)$ ] u  $P^i(t^i)$ ;
 $t^i=(t^i+1);$ 
fin_de_hacer
fin

```

Tabla3. AEP

Como puede observarse, un algoritmo evolutivo paralelo extiende la versión secuencial incluyendo una fase de comunicación con un vecindario de otros algoritmos evolutivos. La forma de realizar esta comunicación, el tipo de operaciones del resto de algoritmos en paralelo y otros detalles de funcionamiento determinan un comportamiento global. Hay que considerar que el algoritmo de la tabla2 vemos la generación de cada sub-algoritmo con un superíndice i pueden estar en distintas etapas de su evolución.

De entre las operaciones de un algoritmo evolutivo secuencial el mecanismo de selección es el único que obligatoriamente involucra a toda la población. Este hecho es muy relevante para la paralización, y por tanto es merecedor de un estudio mas detenido para el entrenamiento de las RN.

La otra gran vertiente que conduce a la combinación paralelo del AGs es la de abandonar la visión de población única y separarla en sub-poblaciones de cierto tamaño , como ya comentábamos anteriormente, que se comuniquen entre si de alguna forma. Es en este sentido en el que el AEP se ha mostrado con frecuencia más efectivo que su con tripartida AES y , en general, mejoran la búsqueda.

3.2.3 Optimización de función Tx/Rx con AGP

En esta sección ilustraremos la adaptación de un AGP a un problema de funciones bidimensionales

$f(x,y)$. En este caso la interpretación del problema es como sigue: haremos corresponder la función $f \rightarrow$ Transmisión medio Tx.

Esta $Tx \rightarrow$ asociada al estado (x,y) , la evolución del sistema tenderá a minimizarla, nos referimos a la función transmisión hacia el medio.

En términos generales, la idea principal de la exploración genética como ya se ha comentado anteriormente, es encontrar individuos mejor adaptados a su ambiente. Para eso los individuos se reproducen buscando, con el intercambio de material genético y las mutaciones, que cada nueva generación mejora la adaptación.

Entonces para poder aplicar este esquema al problema de minimizar la función, debemos dar las definiciones de individuos (usuarios/nodos) en nuestro caso, genes, cromosomas y ambiente, y cuantificar la adaptación. véase figura.12

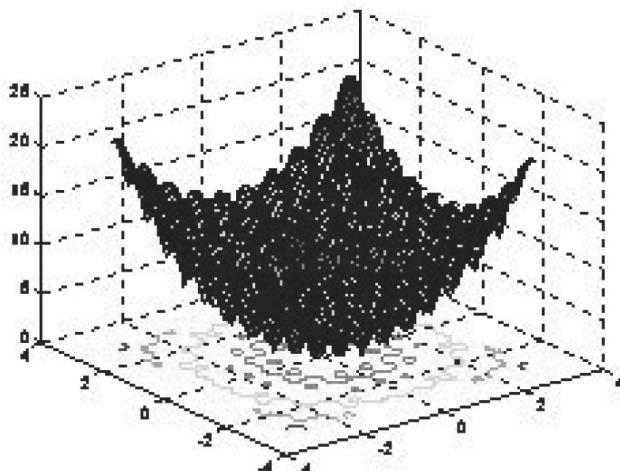


Fig.12. Transmisión hacia el medio

Si pensamos que cada individuo (usuario/nodo) corresponda a un punto de Tx como un par (x,y) $[h,i]x[j,k]$, se puede definir la adaptación como un escalar inversamente proporcional a la función f de manera que la minimización de $f(x,y)$ corresponderá a la mejor transmisión con el mínimo de recursos y definido también como la mejor adaptación al medio de finida por la función f .

En este punto, solo queda definir la “codificación genética” del es del individuo (usuario/nodo) (x,y) para aplicar los operadores genéticos. Definiremos

un cromosoma como el arreglo consecutivo de 4 genes, dos por cada número del par (x,y) . Este arreglo se construye normalizando cada coordenada según el rango donde se puedan variar y guardando los primeros (n) decimales.

Así el par $(0.6 ,1.45)\{[0,1]x[0,3.35]\}$ si se normaliza el par $(0.6/1.45/3.35) = (0.6, 0.78923456\dots)$. La identificación del individuo (usuario/nodo) con su cromosoma (identificador) usando cuatro cifras significativas $(0.6, 1.45) \rightarrow [67895702]$.

En este “espacio genético” se pueden aplicar los operadores de cruzamiento y mutación, que en la evolución natural suceden en el espacio de las bases nitrogenadas y aquí en nuestro caso en la base numérica decimal.

Una mutación será el reemplazo de cualquiera de los 8 números del cromosoma por otro esto es $[14567889] \rightarrow [14067889]$.

Así pues el cruzamiento consiste en el intercambio, a partir de cualquier posición, de la información de los cromosomas (identificación) de los individuos (usuario/nodo) seleccionados, esto es $[24688642] + [87655432] \rightarrow [24685432]$. Ver figura13

Con estas definiciones podemos adaptar esta problemática a un entorno de red heterogéneo como población inicial N usuarios/nodo para Tx (x_i ,y_i) , seleccionarlos para este caso usando la función $f (x_i ,y_i)$.

A continuación comentamos muy brevemente el código utilizado en matlab para resolver esta aplicación. Tabla4

<i>Los Parámetros empleados</i>	
<i>genes = 4;</i>	<i>cromosoma</i> → <i>(genx,geny) → Tx/Rx</i>
<i>largo=6;</i>	<i>longitud gen</i> → <i>datos</i>
<i>N_{gen} = 70;</i>	<i>cantidad de generaciones</i> → <i>Tx/Rx</i>
<i>mut=.2;</i>	<i>tasa de mutación</i>
<i>cross=.8;</i>	<i>tasa de cruzamiento</i>
<i>rango:=[xmin ymin] , [xmax ymax]</i>	→ <i>rango</i>
<i>distribución población inicial (red heterogénea)</i>	

Tabla.4. Parámetros optimización AEP



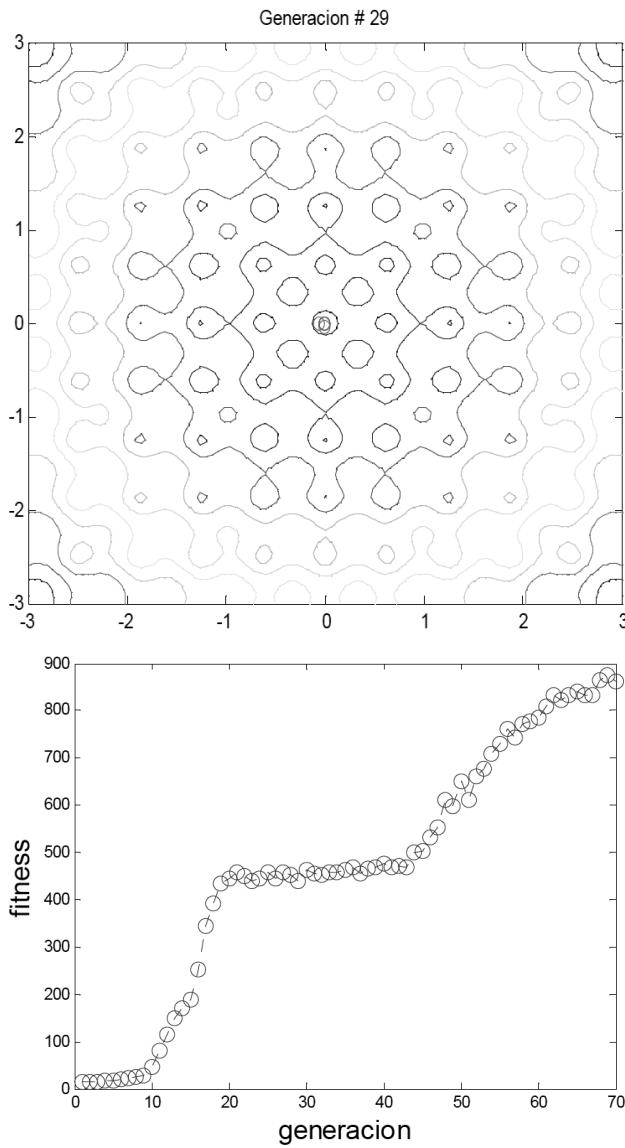


Fig 13, a) escaneado individuos en un instante t b) función fitness

IV.CONCLUSIONES

El principal objetivo de este trabajo es mostrar la posibilidad de empleo de la inteligencia artificial y en concreto de algunas de sus herramientas las redes neuronales y los algoritmos genéticos para la resolución de problemas de optimización de las redes de nueva generación NGN. No es fácil encontrar un mínimo global realizando un complicado ajuste de parámetros constantes de funciones de coste y de las funciones de activación de las neuronas de red .

El objetivo no es obtener la mejor solución, sino tan solo una buena (mínimo local), que represen-

te una solución localmente óptima al problema. El empleo de redes neuronales y algoritmos genéticos parece prometedor principalmente porque su implementación física aumenta la velocidad computacional de estos algoritmos, permitiendo una reducción en el tiempo de cálculo necesario para ofrecer una aproximación a la solución del problema.

Como trabajo futuro se propone verificar el funcionamiento de diferentes arquitecturas de red y sus algoritmos a la optimización de los problemas de redes de nueva generación, posición, arquitectura, retardo movilidad etc y utilizando también como función de activación de diferentes funciones y métodos de optimización diferentes.

VI.REFERENCIAS

- [1] S.Glisic. Advanced Wireless Communications: 4G Technology. John Wiley-Sons: Chichester, 2004.
- [2] WWI Ambient Network, “D1-8 Ambient Networking Concepts and Architecture”, IST-2002-507134-AN/WP1/D04. February 2005.
- [3] WWI Ambient Network, “D3-3 Connecting Ambient Networks – Final Architecture, Protocol Design and Evaluation”, IST-2002-507134-AN/WP1/D/3-3. December 2005.
- [4] Dan Hammerson: Working with neural networks Spectrum, July 1993, pp46-53.
- [5] Richar R.Lipmann: An introduction to computing with neural nets. IEE magazine, April 1987, pp 4-22
- [6] Mitchell, Melanie. An Introduction to Genetic Algorithms. MIT Press, 1996.
- [7] Koza, John, Martin Keane, Matthew Streeter, William Mydlowec, Jessen Yu y Guido Lanza. Genetic Programming IV: Routine Human-Competitive Machine Intelligence. Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [8] Haupt Randy y Sue Ellen Haupt. Practical Genetic Algorithms.John Wiley&Sons,1998.

[9] Goldberg, David. Genetic Algorithms, Optimization and Machine Learning Addison –Wesley, 1989.

[10] Holland, John. ``Genetic algorithms.'' Scientific American, julio de 1992, p. 66-72.

[11] Ch. Young-June, K. Bok Lee, S Bahk. All-IP 4G network architecture for efficient mobility and resource management. IEEE wireless communications, vol. 14, issue 2, april 2007.

[12][3GPP-22.978] 3rd Generation Partnership Project (3GPP). All-IP Networks (AIPN) feasibility study (Release 7). Technical Specification 22.978 v 7.1.0. June 2005.

[13][3GPP-23228] 3rd Generation Partnership Project (3GPP). IP multimedia subsystem (IMS); stage 2 (Release 6). Technical Specification 23.228 v 6.4.1. January 2004.

VII. BIBLIOGRAFIAS



Antonio Barba Martí es Ingeniero y Doctor Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Cataluña. Desde 1990 es profesor titular en el Departamento de Ingeniería Telemática de la misma UPC.. Ha estado trabajando en diversos proyectos de investigación europeos desde 1992 (MONET, ATDMA, CANDLE) así como en proyectos españoles (AMI, CIDET, GIRIN) y con empresas, ha publicado más de cincuenta artículos en conferencias nacionales e internacionales. Premio a la mejor tesis doctoral de redes de acceso por el Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación de España. Pertenece a diversas sociedades técnicas del IEEE, colabora con IETF. Es autor de un par de libros sobre Gestión de Red e Inteligencia de red. Sus principales áreas de interés son redes inteligentes, control y gestión de red.



Àngel Pallejà Muñoz es profesor-investigador a tiempo parcial (PDI) en el Departamento de LSI Lenguajes y Sistemas Informáticos en la FIB Facultat de Ingeniería Informática_UP Campus NORD. Actualmente está trabajando en la tesis doctoral en Ingeniería Telemática en la Universidad Politécnica de Cataluña en Barcelona, España. Sus principales áreas de interés son la Inteligencia Artificial ,control, gestión de red, y las redes de nueva generación NGN..

Calidad de servicio (QoS) basáandonos en redes de nueva generación

Antoni Barba Martí, Angel Pallejà Muñoz
Departamento de Ingeniería Telemática
Universidad Politécnica de Cataluña
Jordi Girona, 1-3 Edificio C3 . 08034
telabm@entel.upc.edu ; apalleja@entel.upc.edu

Resumen- La tendencia actual en cuanto a los equipamientos del entorno de usuario doméstico esta entrelazando toda una mezcla de tecnologías de sistemas heterogéneos y redes de acceso sobre la movilidad de usuario, donde pueden entregarse en una arquitectura de interconexión, que admite una amplia variedad de servicios, hayan variado la calidad de servicio (QoS) (baja latencia, alta tasa de bits, bajo error, interactividad, y así sucesivamente). En este tipo de escenarios, utilización de herramientas de Inteligencia Analítica (TIA), que contribuya a la composición de la red se utilizara en mayor o menor medida para los servicios ubicuos sobre todo en redes(NGN) esta técnica podrá desempeñar un papel clave para los proveedores de servicios. En este trabajo se plantea un escenario particular, utilizando TIA como punto de partida convirtiéndose en una herramienta eficaz para implementación a posteriori en la Inteligencia Artificial (IA)

Palabras Clave- Redes nueva generación NGN, Calidad de Servicio. Herramientas de inteligencia analítica

I. INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista de servicio del proveedor, una composición de red inteligente define una arquitectura que soporta los servicios existentes y nuevos con la mejor calidad de servicio es de vital importancia. En este sentido, un mecanismo inicial en la selección dinámica de red, tiene que desarrollarse para decidir una tecnología de acceso radio propia de un servicio específico. Además los proveedores de servicios deben considerar soluciones alternativas a las situaciones de mejor calidad para el servicio solicitado, lo que les permite mantener un nivel de satisfacción de los usuarios alta.

Desde el punto de vista de usuario, la prestación de calidad de servicio es un tema importante para aceptar o negar unos servicios determinados y específicos. A este respecto; será esencial que se permitan versátiles y adaptables modelos de red que pueden ser aplicados como ofertas específicas de servicios con perfiles de usuario, las prioridades de la red, servicio, etc.

Uno de los propósitos de las redes heterogéneas es combinar dos de los paradigmas más exitosos en las comunicaciones: las redes móviles inalámbricas e Internet.

Las redes ambientales AN [1] pondrán el control en el usuario, ya que ellos serán capaces de decidir en cada ocasión (servicios) y para cada entorno (movilidad, cobertura), el sistema de acceso adecuado, proporcionándole servicios personalizados independientemente de la tecnología de acceso elegida. Esta personalización de servicios requerirá la definición de mecanismos de negociación de grado de calidad de servicio dependiendo de las decisiones de conexiones actuales es una pauta de desarrollo de los nuevos esquemas de gestión. Esta característica permitirá la negociación “AL VUELO” del nivel de servicio deseado. La negociación de la calidad de servicio permitirá al usuario establecer el nivel de servicio deseado, junto con el precio del servicio.

Uno de los puntos clave del éxito de este entorno será la diferenciación de servicios. La clasificación de diferentes categorías o clases de servicio permitirá la asignación de prioridades, y la asignación de recursos necesarios basado en los requerimientos de servicio. Se han definido algunas clases de servicio por parte de las entidades de estandarización. Como 3GPP [3GPP-23107],[2][3] los cuales definen 4 clases de servicio: conversacional; de flujo; interactivas y de fondo, además de los requerimientos de calidad de servicio para cada una de las clases. Ver tabla 1

Traffic class	Conversational class	Streaming class	Interactive class	Background class
Maximum bitrate (kbps)	<= 16 000 (2)	<= 16 000 (2)	<= 16 000 - overhead (2) (3)	<= 16 000 - overhead (2) (3)
Delivery order	Yes/No	Yes/No	Yes/No	Yes/No
Maximum SDU size (octets)	<=1 500 or 1 502 (4)			
SDU format information	(5)	(5)	Yes/No- (6)	Yes/No- (6)
Delivery of erroneous SDUs	Yes/No- (6)	Yes/No- (6)	Yes/No- (6)	Yes/No- (6)
Residual BER	$5 \cdot 10^{-3}, 10^{-3}, 5 \cdot 10^{-3}$ $10^{-3}, 10^{-3}, 10^3, 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}, 10^{-3}, 5 \cdot 10^{-3}$ $10^{-3}, 10^{-3}, 10^3, 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}, 10^{-3}, 6 \cdot 10^{-3}$ $10^{-3}, 10^{-3}, 10^3, 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}, 10^{-3}, 6 \cdot 10^{-3}$ $10^{-3}, 10^{-3}, 10^3, 10^{-3}$
SDU error ratio	$10^4, 7 \cdot 10^{-3}, 10^3, 10^{-4}$ 10^{-3}	$10^1, 10^{-3}, 7 \cdot 10^{-3}, 10^{-3}$ $10^{-4}, 10^{-3}$	$10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-3}$	$10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-3}$
Transfer delay (ms)	100 – maximum value	300 (8) – maximum value		
Guaranteed bit rate (kbps)	<= 16 000 (2)	<= 16 000 (2)		
Traffic handling priority			1,2,3 (9)	
Admission/Retention priority	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3
Source statistic descriptor	Speech/unknown	Speech/unknown		
Signalling Indication			Yes/No (9)	

Tabla1.- Clases de servicio definidas.los rangos y sus valores reflejan la capacidad de trabajo

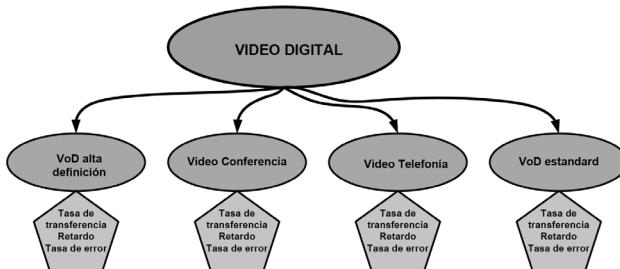


Figura1.-Ejemplo de servicios compuestos

El problema planteado en este artículo consiste en definir una respuesta a la calidad de servicio de alta capacidad adecuada para las redes heterogéneas y que a la vez permita simplificar la configuración y mantenimiento de la red, optimizando la infraestructura de comunicaciones mediante la reducción del coste de los equipos. Se trata de definir herramientas sencillas utilizando como herramienta algunos aspectos de la inteligencia analítica TIA, métodos robustos de optimización y estadística, una vez sentadas las bases poder aplicar compaginando diferentes herramientas de inteligencia artificial véase figura 2.

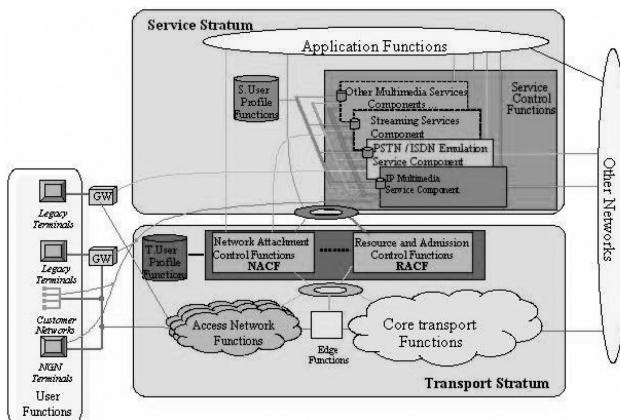


Figura2. Idea espacio conexión-transporte en NGN y interfaces

II. CONECTIVIDAD DE RED

2.1 La Inteligencia en redes de nueva generación

Así pues las redes de nueva generación (NGN) [4] es un proyecto de colaboración que es el resultado de un proyecto marco europeo, la investigación de redes de sistemas móviles de 3G más allá de las normas [2]. La visión ambiental de las redes incluye la creación dinámica de trabajo entre otras cosas una multitud de tecnologías de acceso a la red: redes centrales, redes de acceso, redes de área personal

Imaginemos que la figura2, muestra una hipotética organización de posible funcionalidad lógica que podríamos determinar en redes ambientales, mostrando un recopilatorio de espacio de red común utilizando un espacio de control común distribuido tanto asumiendo como heredado con vistas de futuro que se extenderá y que recibirá el nombre de conectividad para NGN , esto es interfaz de servicio, interfaz de recurso de ambiente, donde son independientes de las arquitecturas de redes específicas y de las entidades de red con las que interactúan en el espacio de control nuevo a través de ellas[4].

La idea básica de fondo reside detrás de las redes de nueva generación, básicamente es proporcionar niveles de servicio que pueden ser utilizados con independencia de los operadores de red particular. Así las NGN adquieren las funciones de control, conocidas como áreas funcionales que se han diseñado con el fin de hacer frente a los requisitos de calidad de servicio.

La separación de los servicios de transporte, permitiendo que sean ofrecidos por separado y evolucionar de forma independiente, es la piedra angular fundamental de las características de las NGN (véase UIT-T Rec.. Y.2001. El apoyo de los servicios multimedia y otros tipos de servicios al tiempo que permite la movilidad generalizada requiere un buen diseño de aplicación de las funciones de control ya que los servicios dependen de los recursos de red cuidando las asignaciones a través del control (o de gestión) de funciones. El estudio completo de la invocación del servicio por un usuario final es un aspecto clave en el diseño de las arquitecturas NGN. Parece bastante relevante

para el estudio de la arquitectura NGN funcional para centrarse en lo que se etiqueta a menudo como la "invocación" proceso es decir, los procesos que pertenecen a lo que tradicionalmente se llama el "control".

Las funciones de control que participan en la "invocación" proceso se pueden clasificar en dos grupos generales, Las funciones relacionadas con el control de los servicios(por ejemplo, funciones como la autenticación de usuario, usuario juegos en red.. identificación, control de admisión de Servicio, las funciones del servidor de aplicaciones) y las funciones relacionadas con el control de la red de transportes (por ejemplo, funciones como el Control de Admisión a la Red, Red Recursos / control de políticas, prestación de conectividad dinámica).

Estas técnicas, aunque actualmente están muy avanzadas, tendrán de ser mejoradas y adaptadas al nuevo contexto de trabajo.Ver figura 3

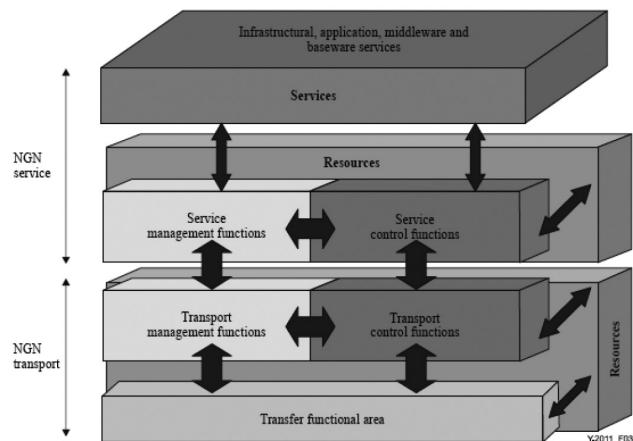


Figura3./Y.2011 Modelo general funcional, diferencia entre transporte y servicio NGN.

Esta arquitectura se compone de soluciones novedosas para la asignación de nombres, encaminamiento, la conectividad el transporte a nivel de mecanismos para la próxima generación de redes heterogéneas [5].

III. ESCENARIO Y PROBLEMÁTICAS

3.1 Componentes de la Inteligencia Analítica (TIA)

Utilizando las Técnicas de Inteligencia Analítica nos puede proporcionar en nuestro estudio la más am-

plia gama de algoritmos y capacidades matemáticas de modelado y manipulación de datos. Sus componentes se podrían agrupar de la siguiente manera:

A) Solución de flujo de datos. Podemos decir que esta integrado por un conjunto de algoritmos de flujo de datos (IA, árboles de decisión, regresión clustering) que permiten entender el sistema de datos para su posterior integración en el sistema.

B) Métodos robustos de optimización y estadística..puede incluir análisis estadísticos diversos...

C) Métodos de pronóstico y análisis económico. Permite el análisis de series de tiempo, es decir entender datos pasados para pronosticar el futuro.

Para hacer frente a los problemas de calidad en una red ambiental donde existen ciertos servicios entre ellos gran cantidad de flujo de datos, es necesario considerar varias técnicas que implica la inteligencia analítica. Por ejemplo en nuestro caso para obtener cierta información de la QoS en una red ambiental es necesario utilizar técnicas estadísticas de correlación y selección.

Una estadística se refiere a medidas tomadas de una muestra de datos [6] . Muchos de los datos usados en base de datos son discretos por naturaleza... para la base datos es importante conocer los datos. Y debido principalmente a que en algunos sistemas existen demasiadas variables que ha y que considerar, es importante identificar aquellas variables que no sean redundantes para disminuir el numero de variables que se tienen que analizar.

El árbol de decisión es una técnica que se puede resolver es un árbol de decisión. Un árbol de decisión es un grafo orientado que representa un proceso de decisión mediante nudos (o vértices) y ramas (o aristas). Podemos decir que existen dos tipos de nudos: decisionales y aleatorios. Los nudos decisionales representan situaciones, en las que el decisor ha de tomar una decisión.

Cada rama que parte de un nudo decisional representa una de las alternativas de decisión. Los nudos aleatorios representan situaciones en las que el de-

cisor se enfrenta en distintos sucesos o estados de la naturaleza entre los que él no puede elegir. Cada rama que parte de un nudo aleatorio representa uno de los sucesos o estados de la naturaleza que pueden acontecer.

Cuando se puede asignar la probabilidad de cada suceso, ésta se coloca sobre la rama que lo representa. Dado que ha de haber una rama para cada suceso posible, la suma de probabilidades situadas en las ramas que parten de cada nudo aleatorio ha de totalizar la unidad (el 100 por 100). A los nudos decisionales se les representa con cuadrados y a los aleatorios con círculos.

IV. APLICACIÓN DE SERVICIOS

JUEGOS ELECTRÓNICOS EN RED.

UIT-T[E.800], se define el efecto global de las prestaciones de un servicio que determina le grado de satisfacción de un usuario al utilizar dicho servicio.

Hablamos de calidad de servicio, en nuestro caso planteamos un caso hipotético de juego en red, donde haremos patentes algunos problemas de retardo, no significativos ahora pero la adquirirán más importancia en un futuro.

Imaginemos que a un usuario diversos proveedores le plantean la posibilidad de elegir entre la descarga de dos juegos A y B, en un entorno NGN con diferentes proveedores y diferentes características que iremos comentando a continuación. Ver figura 4

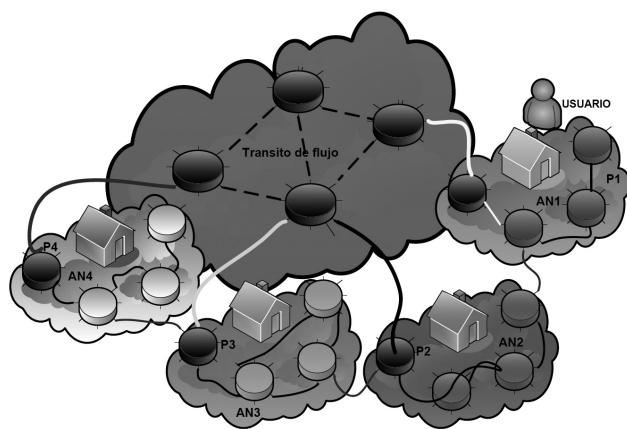


Figura4. Entorno NGN/ Usuario.

V. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

5.1 Planteamiento del escenario-Solución analítica TIA

En el juego A existe una conexión de flujo que origina una interactividad casi perfecta y, si es así el usuario puede elegir entre el proveedor 1 (P1), que tiene tres tipos de escenarios diferentes de juego y un final de juego determinado, y el proveedor 2 (P2), que tiene dos tipos de escenarios diferentes de juego y un único final. Si el usuario elige el proveedor (P1), y al realizar la elección, sale uno de los tres escenarios automáticamente dispone de 100kbps, si sale un final único dispondrá de 400kbps con una calidad razonable. En cambio si el proveedor elegido es (P2), y sale un escenario, dispondrá de 200Kbps, mientras que si se dirige al único final suministrado por este proveedor dispondrá 270Kbps.

Si existe algún tipo de retardo y/o fluctuación con lo que comportara una cierta tasa de error, el usuario podrá elegir entre el proveedor 3 (P3) que tiene tres escenarios y dos finales de juego, o bien también podrá elegir el proveedor 4 (P4) que tiene dos escenarios y cuatro finales diferentes. Si el usuario elige el proveedor 3 (P3) y en la interacción de flujo resulta un escenario, dispondrá de 150Kbps, mientras que si sale un final dispone de 250kbps. Si el usuario eligió jugar con los servicios del proveedor 4 (P4), dispondrá de 300Kbps si en la interacción resulta un escenario, y 120Kbps si en el seguimiento del juego interactúa con un final.

El juego B consiste en interactuar al azar escenarios y finales de juegos. Si el resultado es un número aleatorio par dispondrá de 210kbps y si es impar dispondrá 190 Kbps. Así pues nos interesa saber las opciones que debe elegir el usuario en un entorno (NGN) en condiciones de calidad de servicio en los dos casos siguientes:

- Cuando el objetivo del usuario es maximizar la esperanza matemática del resultado par un entorno.

A continuación utilizaremos TIA, concretamente los árboles de decisión correspondiente a este caso del juego:

A: Elegir juego A
 B: Elegir juegoB
 C: Obtener proveedor en función de tráfico
 X:Obtener proveedor nuevo en función trafico

P1:Elegir proveedor1

P2: Elegir proveedor 2

P3:Elegir proveedor 3

P4: Elegir proveedor 4

Ei= Obtener la flujo+ interacción de un escenario al realizar dicha interacción del proveedor correspondiente i

Fi=Obtener un final de juego al flujo + interacción del proveedor correspondiente i

Par = Obtener un numero par al interactuar al azar

Impar= Obtener un numero impar en interactuar al azar.

Las probabilidades situadas sobre las ramas que parten de nudos aleatorios se obtienen como cociente entre el numero de casos favorables y el de casos posibles $P(C)=P(X)= 1/2$.ver figura 5.

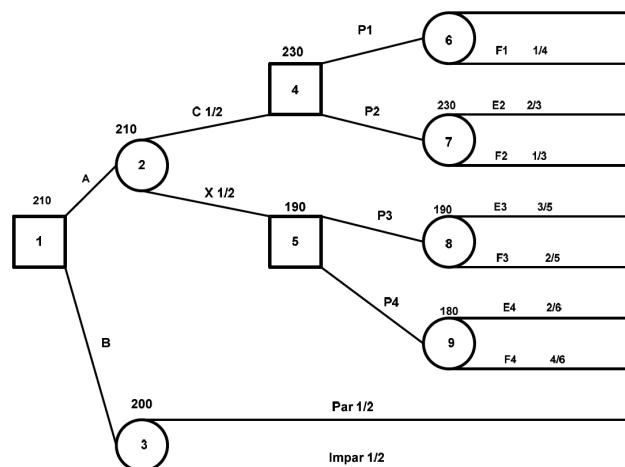


Figura5. Representación árbol de decisión correspondiente escenario red hipotética NGN/usuario.

La probabilidad de obtener un escenario en proveedor P1 que tiene tres escenarios y un final será: $P(E1)=3/4$. Y la de obtener un final de dicho proveedor valdrá $P(F1)= 1/4$. Del mismo modo se han calculado las probabilidades E2,F2,E3,F3;E4,F4.

Simularemos el orden de la aleatoriedad similar al de un dado donde tiene tres caras con números pares y otros tres con números impares. $P(\text{par})=3/6=1/2$; $P(\text{impar})=3/6=1/2$.

Una vez incorporados los valores correspondientes a cada uno de los caminos del árbol, se procede, de

derecha e izquierda calculando los valores asociados a los nudos. Así en cuanto a los vértices aleatorios 6,7,8 y 9 se obtiene:

$$Z6 = 100 (3/4) + 400 (1/4) = 175 \text{ kbps}$$

$$Z7 = 210(2/3) + 270 (1/3) = 230 \text{ kbps} \quad (1)$$

$$Z8 = 150(3/5) + 250 (2/5) = 190 \text{ kbps}$$

$$Z9 = 300(2/6) + 120 (4/6) = 180 \text{ kbps}$$

El inversor situado en el nudo 4 (es decir aquel que se decidió por el juego A y en la interacción de flujo) Puede elegir entre P1, que le proporciona un resultado medio de 175, o el P2, con la esperanza de resultado es de 230.

Siguiendo el criterio de maximizar su esperanza matemática, elegirá la alternativa P2 y el valor asociado al nudo 4 será de 230 kbps. Por la misma razón, el valor asociado al nudo 5 es 190 kbps.

Si el usuario elige el juego A, su esperanza matemática será la del nudo 2, es decir:

$$Z2 = 230 (1/2) + 190 (1/2) = 210 \text{ Kbps} \quad (2)$$

En cambio si eligiera la alternativa B, su esperanza seria el valor asociado al nudo 3, o , lo que es lo mismo:

$$Z3 = 210 (1/2) + 190 (1/2) = 200 \text{ Kbps} \quad (3)$$

Si el objetivo de la decisión es maximizar la esperanza matemática de su resultado, elegirá la alternativa A, si luego, en el flujo+ interactividad de escenario podrá elegir la alternativa comprendida entre P2 ($Z7=230>175= Z6$), si se quiere obtener otro tipo de interacción se puede seleccionar P3.

Como podemos observar en la figura 6, en una interpretación analítica de problema planteado representado en un diagrama de barras y como superposición a este una recta de intersección para mayor entendimiento, introducimos otro factor que es el de días proveedor, por un la do flujo , probabilidad, y días proveedor. [0...35].La interpretación obtenida del problema planteado. Nos da ha entender que a menores días de conexión la probabilidad y flujo de datos será cada vez mayor.

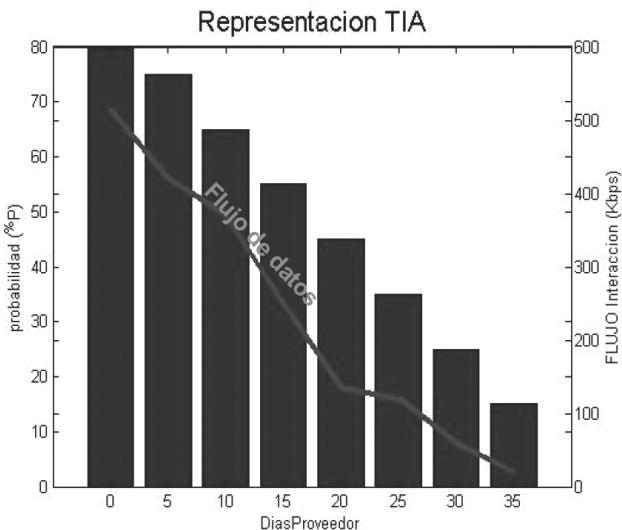


Figura 6. Representación diagrama y recta de flujo datos

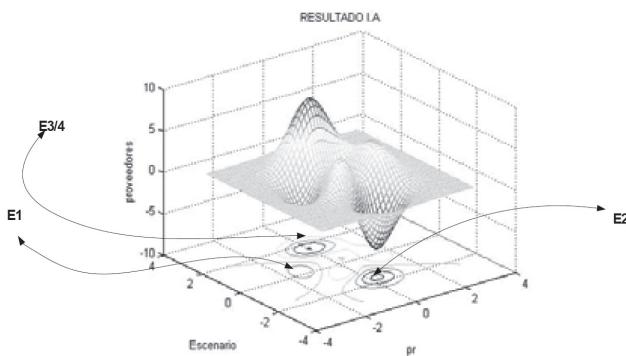


Figura 7. Posición espacial del caso planteado

En la figura 7 se intenta reflejar escenario , probabilidad y proveedor , para dar una visión espacial sobre la problemática planteada.

VI. CONCLUSIONES

En cuanto a los aspectos funcionales de calidad , aplicados en nuestro caso en primer lugar y de forma destacada ,la reclamación que puede existir por parte de los usuarios es la falta de conectividad, que se hace patente utilizando el árbol de decisión .

Predice largos periodos de tiempo (horas y días) en que el usuario simplemente tendrá muy poco acceso a la red, seguido este tipo de quejas por los que sufren desconexiones frecuentes, por lo que habrá que mejorar:

A)Un protocolo conjunto para garantizar la conectividad de red composición, la gestión de los recursos, la seguridad, la seguridad, resolución de conflictos dinámica de usuarios en cualquier red end-to-end para una calidad de servicio.

B)Eficiente apoyo multimedia para el desarrollo de la entrega por los medios de comunicación entre dominios de enrutamiento de flujo y transporte de funcionalidades, equilibrando calidad de servicio QoS.

C)Mejorar la eficiencia de redes y su escalabilidad segura entre dominios.

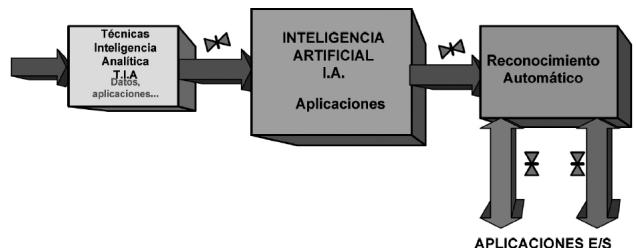


Figura 8. Herramientas de diseño Inteligencia Analítica (TIA) , Inteligencia Artificial (IA), Aplicación final.

En lo referente a navegación hacia la interactividad del juego electrónico podemos decir que la velocidad será pobre, aunque la incidencia real de que se desprende en algunos momentos de navegación picos de esplendor...

Para intentar paliar todas y cada una de las dificultades existentes la técnica empleada es útil para el uso de redes de servicio en redes ambientales como soporte para a posteriori poder aplicarla con otras técnicas como por ejemplo inteligencia artificial. Se podrá lograr una mayor optimización y acercamiento a una mayor calidad de servicio.

VII.REFERENCIAS

- [1] NGN Project. www.itu.int/ITU-T/ngn/release1.html
- [2] 3GPP TR23.107 Quality of Service (qoS) concept and architecture (release 6) June 2005.
- [3] 3GPP TR 32299 telecommunications management; charging management; Diameter charging applications (release 8). September 2007
- [4] NGN.Next generation Network. www.itu.int/ITU-T/ngn/release1.html
- [5] Dave Clark, Robert Braden, Aaron Falk and Venkata Pingali. FARA: Reorganizing the addressing Architecture. Proc. ACM SIGMOMM Workshop on future directions in Network Architecture (FDNA), Karlsruhe, Germany, August 2003. pp. 313-321.
- [6] Statistical ToolBox Matlab, Toolbox general Matlab.

VII.BIBLIOGRAFIAS



Antonio Barba Martí es Ingeniero y Doctor Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Cataluña. Desde 1990 es profesor titular en el Departamento de Ingeniería Telemática de la misma UPC.. Ha estado trabajando en diversos proyectos de investigación europeos desde 1992 (MONET, ATDMA, CANDLE) así como en proyectos españoles (AMI, CIDET, GIRIN) y con empresas, ha publicado más de cincuenta artículos en conferencias nacionales e internacionales. Premio a la mejor tesis doctoral de redes de acceso por el Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación de España. Pertenece a diversas sociedades técnicas del IEEE, colabora con IETF. Es autor de un par de libros sobre Gestión de Red e Inteligencia de red. Sus principales áreas de interés son redes inteligentes, control y gestión de red.



Àngel Pallejà Muñoz es profesor-investigador a tiempo parcial (PDI) en el Departamento de LSI Lenguajes y Sistemas Informáticos en la FIB Facultat de Ingeniería Informática_UP Campus NORD. Actualmente está trabajando en la tesis doctoral en Ingeniería Telemática en la Universidad Politécnica de Cataluña en Barcelona, España. Sus principales áreas de interés son la Inteligencia Artificial ,control, gestión de red, y las redes de nueva generación NGN..

GPON Unbundling for Multioperator Access

David Carmona Torondel^{1,2}, Josep Prat Gomà¹, M^a Pilar Sánchez Marco².

¹Grupo de Comunicaciones Ópticas. Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones.
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de Barcelona.

Universitat Politècnica de Catalunya.

²Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones.

OUTLINE / MOTIVATION

Nowadays, incumbent operators are deploying GPON FTTH access network over substantial part of the countries in Europe, in a Point-to-Multipoint architecture (P2MP). This architecture is characterized by a shared fiber from the Central Office (C.O.) to a certain location where, by means of splitters, individual fibers carry the signal to/from every user. It is preferable for an open market situation, where the competition in prices and services is desirable and also enforced by local governments and administrations, to have different entry options to the market for the many alternative operators (entrants) which may come up and compete with the incumbent. For that reason, this study aims at considering different unbundling options for the Local Loop Unbundling (LLU) in order to provide multioperator access and consider the economical impact for the entrants to deploy such alternatives.

The scope of this study primarily covers remedies to be imposed upon operators designated with Significant Market Power (SMP) on the basis of a market analysis procedure carried out under Article 16 of Directive 2002/21/EC [EUC02a]. However, where it is justified on the grounds that duplication of infrastructure is economically inefficient or physically impracticable, the regulator may also impose obligations of reciprocal sharing of facilities on undertakings operating an electronic communications network in accordance with Article 12 of that Directive which would be appropriate to overcome bottlenecks in the civil engineering infrastructure and terminating segments.

This work deals with the following issues:

- Alternatives for LLU: although there are several methods, the next three have been considered

as they are the most feasible in terms of cost, scalability and upgradeability, in the number of clients and operators. [ALC10a] [FCE11c] [ISD09a] [MAS09a] [ITU08a] [WKC10a]

- Move the Splitters Back.
 - Replicate the Access Network.
 - Upgrading to WDM technologies.
- Results / Comparison: both absolute and incremental costs, starting from a P2MP deployment for the different unbundling strategies.

Alternative operators, some of whom have already deployed their own networks to connect to the unbundled copper loop of the SMP operator, need to be provided with appropriate access products in order to continue to compete in an NGA context. For FTTH these may consist of access to civil engineering infrastructure, to the terminating segment, to the unbundled fiber loop (including dark fiber) or of wholesale broadband access, as the case may be. This work, although aiming to be general, takes the relevant data from the Spanish FTTH case.

Where remedies imposed on Market 4 lead to effective competition in the corresponding downstream market, in the whole market or in certain geographic areas, other remedies could be withdrawn in the market or areas concerned. Such withdrawal would be indicated, for instance, if the successful imposition of physical access remedies were to render additional bitstream remedies redundant. Moreover, in exceptional circumstances, the regulator could refrain from imposing unbundled access to the fiber loop in geographic areas where the presence of several alternative infrastructures, such as FTTH networks, in combination with competitive access offers on the basis of unbundling, is likely to result in effective competition on the downstream level. [EUC10c]



ALTERNATIVES FOR LOCAL LOOP UNBUNDLING

In a Fiber to the Home context duplication of the terminating segment of the fiber loop will normally be costly and inefficient. To allow for sustainable infrastructure competition, it is therefore necessary that access be provided to the terminating segment of the fiber infrastructure deployed by the SMP operator. To ensure efficient entry, it is important that access is granted at a level in the network of the SMP operator which enables entrants to achieve minimum efficient scale to support effective and sustainable competition. [EUC10c]

Three methods have been analyzed as they are considered the most feasible. The departure point is the P2MP network already deployed by the incumbent [Fig. 1], where in addition to the single fiber from the C.O. to the splitter premises the operator has deployed some spare fibers to use in later network upgrades. These fibers remain unconnected and can be used to reduce costs significantly.

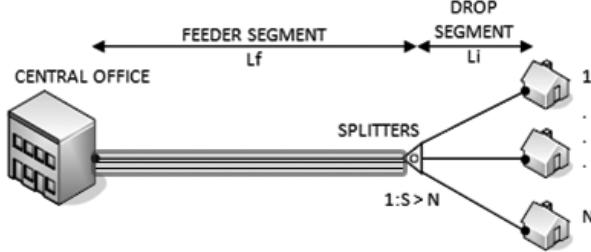


Fig. 1 – P2MP departure point deployment diagram.

Move Splitters Back

The goal of this approach is to modify the architecture of the current deployment to get a P2P-like architecture, where each customer has a single dedicated fiber.

1. The first step is to remove the splitters and put them back as close to the C.O. as possible:

2. Then, some extra fibers have to be deployed for the feeder segment, to connect the splitters to the users' fibers and perform some fiber fusions.

3. Finally, the unbundling can take place at the C.O. where an entrant operator has to deploy its own infrastructure to get there.

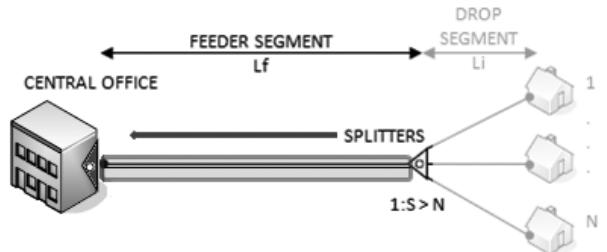


Fig. 2 – Move splitters back.

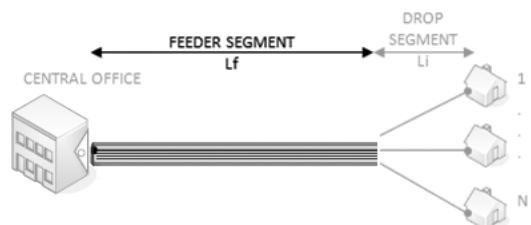


Fig. 3 – Deploy extra fibers.

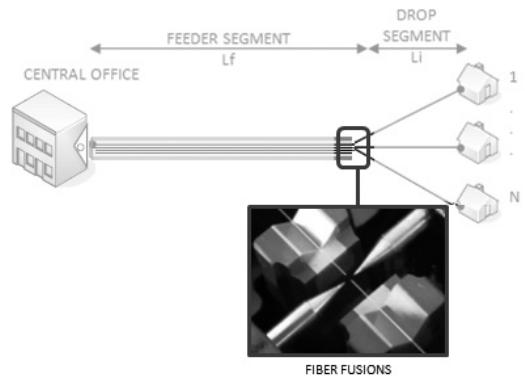


Fig. 4 – Fiber fusions at former splitters location.

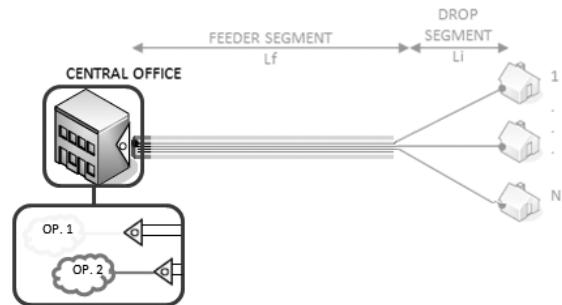


Fig. 5 – Move splitters back: entrant operator in incumbent's C.O.

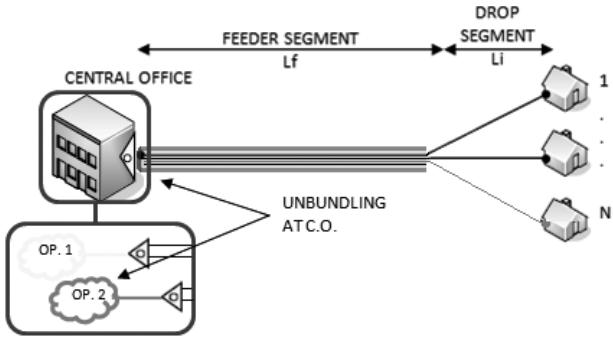


Fig. 6 – Move splitters back: unbundling at C.O.

The total costs of this upgrade are the related to:

- **extra fiber deployment**, which is calculated as the 70% of a normal fiber deployment due to the spare fibers. This % may vary in a great range, from 10% to 120%, according to the city structure. 70% has been considered the usual value for the models described in this study. [FCE11c] [ISD09a] [MAS09a] [ITU08a] [WKC10a]
- **trenching** for the feeder segment, where necessary.
- **fiber fusions**.
- maybe some **extra space in the C.O.** has to be considered to place the splitters.

Replicate Access Network

A different approach aims at deploying a second access network, particularly the drop segment, to use by the entrant operator. The entrant arrives to the splitters location with its own infrastructure. In this configuration, either at least a couple of fibers connect every user with the splitter premises or the entrant operator changes the user's connections to its own splitters.

1. The entrant operator arrives to the incumbent's splitters location with its own infrastructure (feeder segment). Some extra splitters have to be deployed in order to connect the drop segment fibers with the customers. There's the issue when there's not enough space for such splitters so additional digging has to be done to house this equipment.

2. In some cases, extra fiber needs to be deployed between the splitters and the customer premises.

3. The unbundling can be done then at the splitters location.

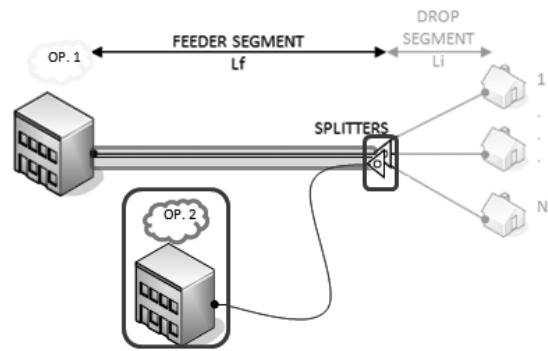


Fig. 7 – Entrant operator deploys fiber to the incumbent splitters location and extra splitters.

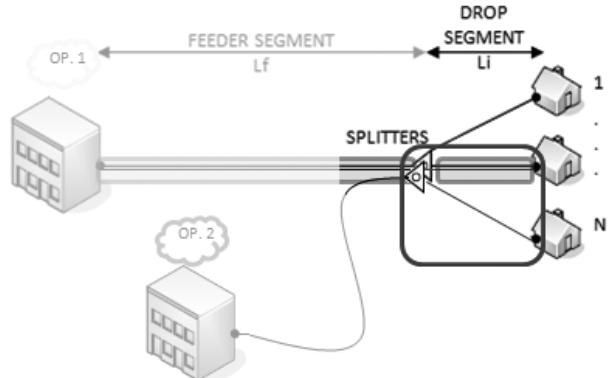


Fig. 8 – Entrant deploys alternative fiber to the customer or changes the fiber connection at the splitters location.

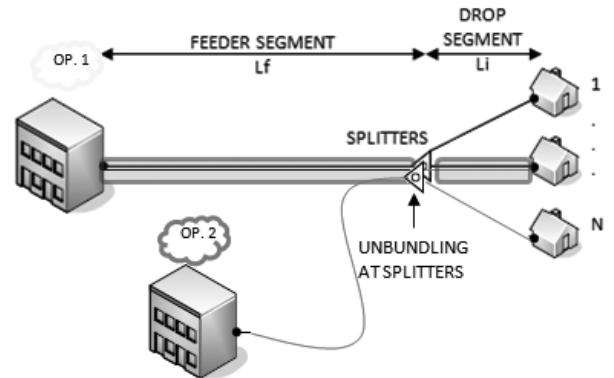


Fig. 9 – Replicate access network: unbundling at splitters

The total costs of this upgrade are the related to:

- **extra fiber deployment**, which is calculated as the 70% of a normal fiber deployment due to the spare fibers and changing of connections. Note that when deploying fibers a common strategy is to deploy se-

veral 128 fiber cables to fill the whole trench. The unused fibers remain unconnected (dark fibers) and ready to be used for new deployments or future network upgrades.

- **trenching** for the feeder segment.
- **extra splitters**.
- maybe some **extra space** in the splitters location has to be considered to place the splitters.

WDM PON

The last alternative considered is an upgrade to WDM PON architecture. In this network, every user has a wavelength assigned. The changes needed occur in the C.O. where the current OLTs have to be changed for ones that support WDM technologies, and in the splitters location, where all the splitters have to be substituted by WDM filters, one for each user. Also, at the C.P.E., different options are available (light sources at ONU).

1. Old GPON equipment has to be substituted by WDM PON equipment: WDM OLT in the Central Office, replace splitters with WDM multiplexers (AWG) 1:32 and install filters and new light source at the C.P.E.

2. The entrant operator has to install its own infrastructure in the Central Office.

3. Finally, with both the incumbent and the entrant operating different wavelengths, the unbundling takes place at the C.O.

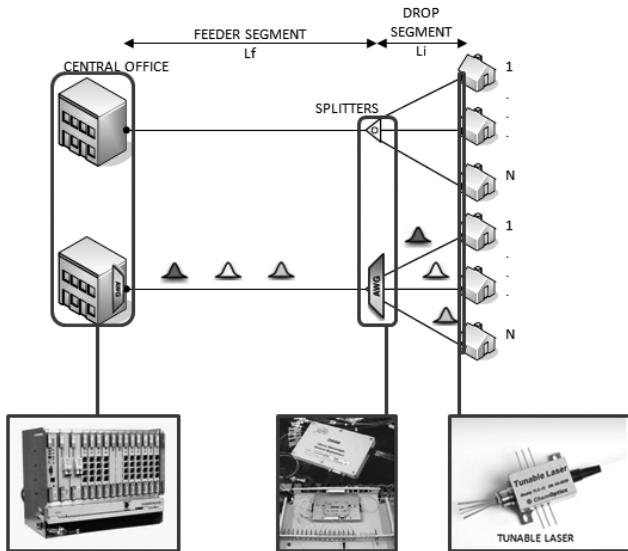


Fig. 10 – WDM PON equipment upgrading.

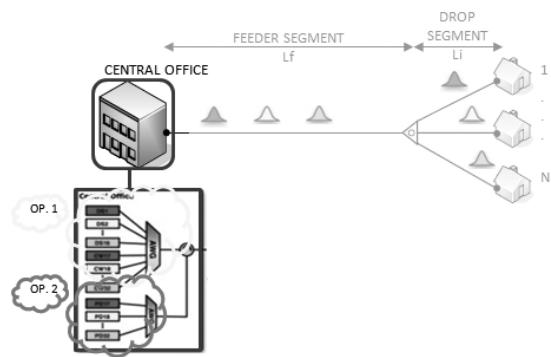


Fig. 11 – WDM PON: entrant operator in incumbent's C.O.

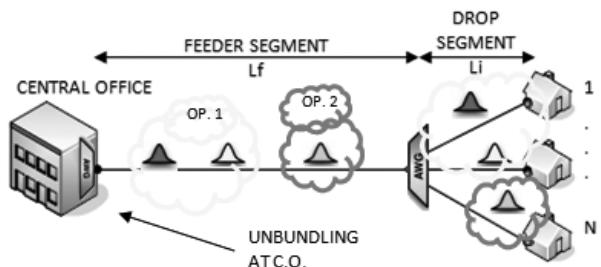


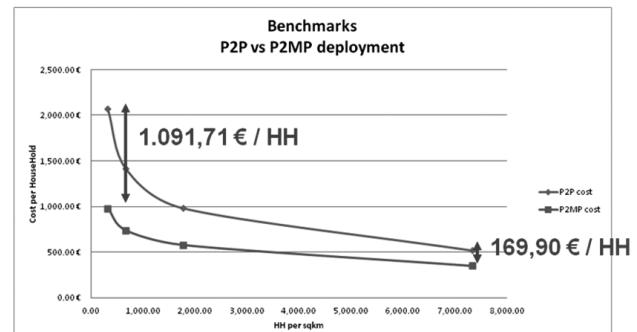
Fig. 12 – WDM PON: unbundling at C.O.

The total costs of this upgrade are the related to:

- C.O. changing the **OLT equipment** to support WDM technologies.
- Substituting the splitters by **WDM filters**.
- **Light sources** at ONU
 - o Laser at λ_i (one different lambda for user)
 - o Tunable laser
 - o RSOA

COSTS CALCULATION

Initial deployments: P2P vs P2M



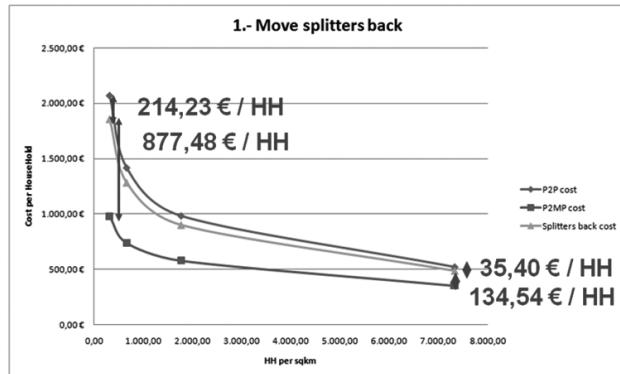
Graph 1 – Benchmarks: P2P vs P2MP deployment costs comparison.

[Graph 1] shows the departure point for this study, where two architectures, P2MP and P2P are compared in terms of deployment cost per household in different household density areas. P2P deployments have larger costs mainly due to the amount of fiber needed, as every customer has its own fiber from the C.O. to the CPE. As expected, for lower density areas the cost increase and also the difference in cost between both architectures is greater. The trend is to converge to a stable and low cost for both architectures as the density increases.

As this is the start point, it is expected for all the alternatives considered to fall in between these cost curves, so it is easy to compare which of the alternatives is more cost-effective.

Unbundling alternatives

1.- Move Splitters Back



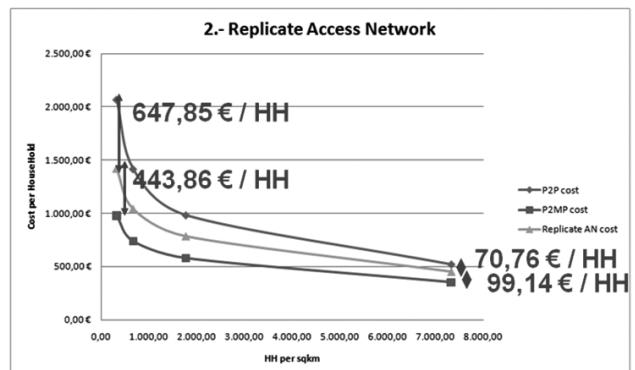
Graph 2 – Cost comparison between benchmark and “move splitters back” alternative.

When moving the splitters back, the costs obtained are very high, almost reaching the P2P curve. The more spare fibers used, the low the cost curve becomes, so the costs for the alternative decrease, as shown in [Graph 2]. The costs reflected in the previous graphs are related to not using any spare fiber. Again the trend is to reach some equilibrium point for higher household density areas.

2.- Replicate Access Network

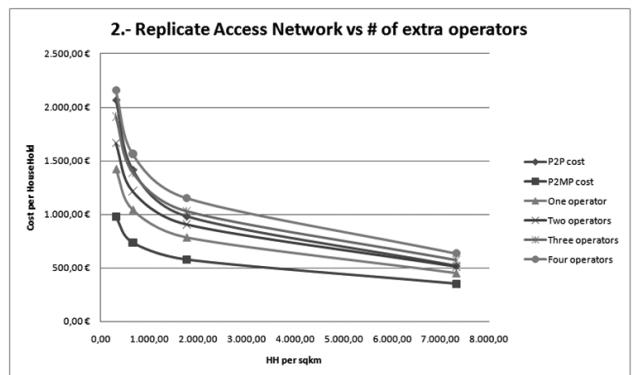
The second alternative turns to be less costly than the first and falls more or less in the middle of the base deployments considered (P2P and P2MP). [Gr-

ph 3] shows the case for a single entrant deploying its own network.



Graph 3 – Cost comparison between benchmark and “replicate access network” alternative.

Replicate Access Network for multiple operators



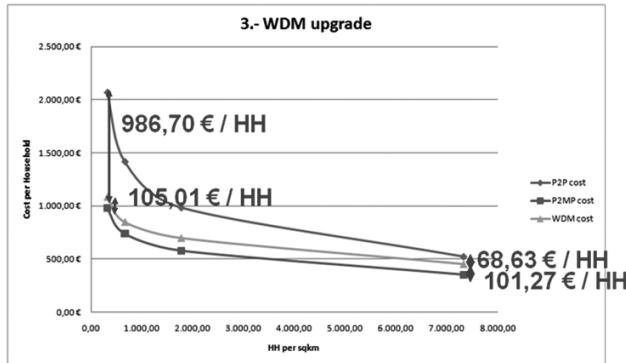
Graph 4 – Cost comparison between benchmark and extra entrants replicating the access network.

For many entrants, as shown in [Graph 4], the related costs increase, taking into account that the trenching costs are shared and every operator assumes the fiber deployment costs. For one and two extra operators (entrants) the costs are reasonable and lower than the P2P case.

When a third operator deploys its network the costs reach the P2P case and go over it for a certain household density. The fourth operator is unviable, as its costs overcome the P2P case. Normally there are not more than two entrants willing to deploy their network in a city, so this strategy is fully acceptable.

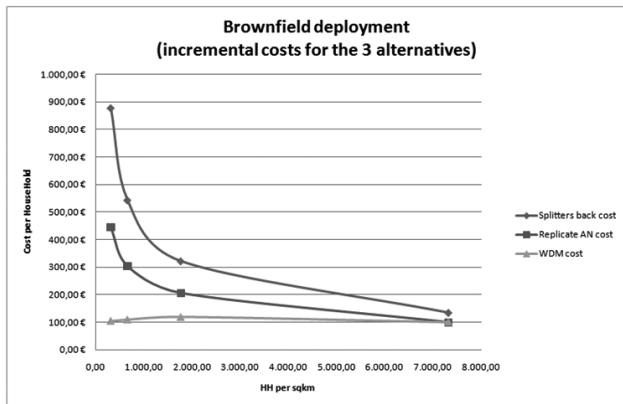
These costs have been calculated for individual entrants. When two or more operators deploy their infrastructure simultaneously, sharing expenses leads to a decrease in final cost per operator.

3.- WDM PON



Graph 5 – Cost comparison between benchmark and “WDM upgrade” alternative.

As the main costs for WDM upgrade are the related to the OLT equipment and filters for the users, this strategy has the lower costs, compared to the previous ones. [Graph 5]



Graph 6 – Cost comparison for the three alternatives considered.

[Graph 6] shows the incremental cost for each alternative, not taking into account the previous network deployment. As we have seen so far, the first alternative, taking the splitters back, is the costly one, with costs decreasing as the household density increases. The second one, replicating the access network (shown here for one extra operator) is the intermediate one in terms of cost, also decreasing with the household density. And the WDM upgrade is the least costly of the three. As expected, all three tend to an equilibrium point as the household density increase.

CONCLUSIONS

Despite WDM equipment is the most expensive, deploying WDM networks is a low-cost strategy to perform local loop unbundling while upgrading the network for the new era where high bandwidths are necessary for satisfying customers' demand. In areas with high population density WDM techniques are the most suitable for entrant operators to access the incumbent's network and provide service.

REFERENCES

- [ALC10a] FTTH network economics - Key parameters impacting technology decisions.
- [BOE11a] Real Decreto 346-2011, de 11 de marzo.
- [EUC02a] Directive 2002-21-EC on a common regulatory framework for electronic communications networks and services (Framework Directive).
- [EUC10c] Commission Recommendation on regulated access to Next Generation Access Networks (NGA).
- [FCE10a] FTT(H,B) Panorama European Union (36) at December 2010.
- [FCE11a] FTTH Council Europe Annual Report April 2010 - April 2011.
- [FCE11b] European FTTH Forecast, 2010-2015.
- [FCE11c] FTTH Business Guide 2011.
- [FCE11d] FTTH Handbook 2011.
- [ISD09a] Informe final sobre los resultados del modelo de despliegue de redes FTTH-GPON en España.
- [ITU03a] Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos - G.984.2.
- [ITU05a] Sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas - G.983.1.

[ITU08a] Gigabit-capable passive optical networks (GPON) - General characteristics - G.984.1.

[ITU08b] Whitepaper ITU-T G 657 Bend-optimised Single mode fiber.

[MAS09a] Competitive models in GPON.

[SIG07A] Techno-Economics of Residential Broadband Deployment.

[WKC10a] Architectures and competitive models in fiber networks – report.



Prof. Josep Prat (jprat@tsc.upc.edu) received the Ph.D. degree from the Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona, in 1995. He is full professor in the Optical Communications Group of the Signal Theory and Communications Department of the UPC. He has mainly investigated on broadband optical communications with emphasis on high bit-rate optical systems, access networks and WDM transmission design and impairment control. He led the FP7 European project SARDANA (“Scalable Advanced Ring-based passive Dense Access Network Architecture”) on a next-generation FTTH network, and has participated in the European projects ACCORDANCE, EUROFOS, BONE, EPHOTON/ONE/One, LION, MEPHISTO, MOON, SONATA and RACE1027, on optical transport and access networks. In 1998 he was a guest scientist in the University College of London, and he has been sub-director of the ETSETB Telecom School (UPC); he has published more than 100 international papers and edited the books "Fiber-to-the-Home Technologies" and "Next-Generation FTTH Passive Optical Networks" (Springer Ed.). He is the leader of one of the "top-10" laboratories in "Fiber-to-the-Home" networks. Currently he is Associate Editor of IEEE-PTL, and TPC member of OFC.

AUTHORS



David Carmona Torondel (david.carmona@ieee.org) received his degree in Telecommunication Engineering from the Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) and carried out his end-degree project both in the Spanish telecommunications regulator “Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones” (CMT) and in the Optical Communications Group of the Signal Theory and Communications Department of the UPC: a Techno-economical study of solutions for multioperator access to the local loop in next generation access networks (NGA). He has published 4 papers regarding his end-degree project in several international congresses related to optical communications. He has obtained a mention of honor and has been awarded with the Càtedra CMT-UPC's best end-degree project prize. He is an active member of the IEEE and the IEEE Communications Society and the former chairman of the IEEE Student Branch Barcelona. He is currently working as a systems integration & technology consultant for an important multinational company.

Implementación de un Espectrómetro con el módulo TMS-320VC5505 eZdsp de Texas Instruments

IEEE University of Valencia Student Branch
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Valencia

Resumen- El proyecto que va a describirse en el siguiente documento corresponde al ámbito de Procesado Digital de Señales en tanto que se ha implementado una aplicación capaz de adquirir una señal de audio, determinar sus componentes frecuenciales y mostrarlas, según su amplitud, en un dispositivo de visualización externo, que se ha diseñado e implementado para este propósito, en tiempo real. De esta forma, el proyecto queda dividido en dos áreas diferenciadas, que son la programación de la aplicación del DSP TMS320VC5505 y el diseño e implementación del dispositivo hardware externo de visualización.

I. INTRODUCCIÓN

La realización de este proyecto ha requerido el empleo de conceptos teóricos tratamiento digital de señales tales como: muestreo y cuantificación de señales, análisis frecuencial, empleo de la Discrete Fourier Transform (DFT)...

Además de estas nociones hemos realizado una fase de documentación, para poder afrontar el proyecto y diseñar la estructura de éste, ampliando nuestros conocimientos sobre elementos que componen una señal de audio y los algoritmos existentes para poder determinar sus componentes frecuenciales.

La segunda fase para la realización del proyecto ha constado de procesado de señales de audio con Matlab para estudiar sus diferentes parámetros: frecuencias de muestreo, componentes frecuenciales más significativas, y generación de señales para probar el programa a implementar en el DSP.

La tercera etapa, ha constado del aprendizaje de manejo del DSP estudiando distintos ejemplos proporcionados por Texas Instruments y de la programación

del código específico para nuestra aplicación.

En la cuarta y última fase se ha realizado un estudio y aprendizaje del programa de diseño de PCBs Altium Designer con el objetivo de implementar el módulo hardware externo de visualización y de esta forma concluir con las etapas necesarias para construir el espectrómetro deseado.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

En las próximas subsecciones se va a realizar una descripción del proyecto, en primer lugar, desde el ámbito de la programación de la aplicación y, en segundo lugar, desde el diseño e implementación desde la parte hardware.

2.1 Programación de la aplicación de Procesado Digital en Tiempo real sobre eZdsp VC5505.

El núcleo de la aplicación está basado en el cálculo de las componentes frecuenciales y para ello se han estudiado los diferentes tipos de DFT que pueden ser implementados en el DSP empleado. La librería DSPLib de funciones optimizadas para programadores #C que proporciona Texas Instruments y que puede encontrarse en [1]. De las ocho categorías funcionales que ofrece, para nuestra implementación se va a hacer uso de la Fast-Fourier Transform (FFT). Para implementar el algoritmo de la FFT la DSPLib posee diez funciones implementadas que poseen las siguientes características:

(a) FFT	
Functions	Description
void cfft (DATA *x, ushort nx, type);	Radix-2 complex forward FFT - MACRO
void cfft32 (LDATA *x, ushort nx, type);	32-bit forward complex FFT
void cifft (DATA *x, ushort nx, type);	Radix-2 complex inverse FFT - MACRO
void cifft32 (LDATA *x, ushort nx, type);	32-bit inverse complex FFT
void cbrev (DATA *x, DATA *r, ushort n);	Complex bit-reverse function
void cbrev32 (LDATA *a, LDATA *r, ushort n);	32-bit complex bit reverse
void rfft (DATA *x, ushort nx, type);	Radix-2 real forward FFT - MACRO
void rfft32 (LDATA *x, ushort nx, type);	Radix-2 real inverse FFT - MACRO
void rfft32 (LDATA *x, ushort nx, type);	Forward 32-bit Real FFT (in-place)
void rfft32 (LDATA *x, ushort nx, type);	Inverse 32-bit Real FFT (in-place)

Figura 1. Funciones para implementar la FFT

La función que se ha empleado para determinar la FFT en nuestra aplicación ha sido la Complex Forward FFT debido a que posee un formato complejo, a diferencia de la CFFT32 permite realizar cálculos con 1024 puntos y hace uso del algoritmo de optimización Radix-2 de decimación en el tiempo. Con este algoritmo se divide la secuencia de datos de entrada $x[n]$ en dos grupos, uno de índices par y el otro de índices impar. Con estas sub-secuencias se realiza el DFT de $N/2$ puntos y sus resultados se combinan para formar el DFT de N puntos tal y como se expone en [2].

El prototipo y los argumentos de la función CFFT son los siguientes:

Prototipo	void <u>cfft</u> (DATA *x, ushort nx, type);
Argumentos	x [2*nx]
	Puntero del vector de entrada que contiene elementos complejos ($2 \cdot nx$ elementos reales) en orden normal. En la salida, vector contiene los elementos nx complejos de la FFT (x) en orden bit invertido. Los números complejos se almacenan en formato intercalado.
	nx
	Número de elementos complejos en el vector x. Debe ser entre 8 y 1024.
	type
	Selección del tipo de FFT: SCALE o NONSCALE.

Tabla 1. Descripción de la función CFFT

En nuestro caso, antes de realizar la llamada a la función, en el vector x se almacenarán las muestras tomadas del conversor analógico-digital, se seleccionarán el máximo de puntos, es decir, 1024 puntos y se seleccionará el tipo de FFT escala (SCALE) ya que nuestro dispositivo es de coma fija.

La función CFFT realiza el siguiente proceso:

- Calcula un punto nx complejo de la FFT en el vec-

tor x, que está en orden normal.

- El contenido original del vector x es destruido en el proceso.

- Los elementos complejos nx del resultado se almacenan en el vector x en orden bit-invertido ya que la tabla que emplea el algoritmo está invertida.

El algoritmo matemático que emplea la función CFFT para desarrollar los cálculos de las componentes frecuenciales es:

$$y[k] = \frac{1}{(\text{scale factor})} * \sum_{i=0}^{nx-1} x[i] * \left(\cos\left(-\frac{2\pi i k}{nx}\right) + j \sin\left(-\frac{2\pi i k}{nx}\right) \right)$$

Para obtener el orden correcto de los términos proporcionados como resultado de ejecutar la función CFFT, debe emplearse otra de las funciones que proporciona la DSPLib. La función Complex Bit Reverse CBREV devuelve a la posición original las muestras que han sido procesadas por CFFT, de forma que se le introduce como dato de entrada los valores que devuelve CFFT ($x[2*nx]$) conjuntamente con el número de puntos de la FFT (nx) y se obtienen los valores ordenados como resultado ($r[2*nx]$).

Prototipo	void <u>cbrev</u> (DATA *x, DATA *r, ushort nx);
-----------	--

Tabla 2. Descripción de la función CBREV

Una vez se han obtenido las componentes frecuenciales para las 1024 muestras, se deben seleccionar las frecuencias centrales de cada una de las bandas que van a representarse en el visualizador y la potencia que posee cada una. Este módulo visualizador contará con 5 barras de LEDs, ya que el kit eZdsp únicamente posee 5 puertos digitales de salida (GPIO) accesibles, de las cuales cada una posee 6 LED. Cada barra de LEDs representará una frecuencia y cada LED una potencia para dicha banda.

Tras realizar varias pruebas con el programa Matlab, se llegó a la conclusión de que para la mayoría de señales de audio las componentes frecuenciales más importantes se encontraban por debajo de los 4kHz.



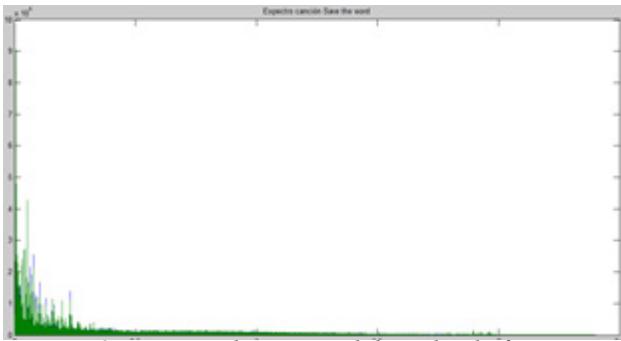


Figura 2. Espectro de una señal de audio, la frecuencia está en Hz

Por tanto, se ha decidido que las frecuencias a representar en el visualizador estén comprendidas entre 0Hz y 4kHz. La frecuencia de muestreo (F_m) de las señales a procesar es de 48000Hz y la FFT empleada posee 1024 puntos, de los cuales únicamente determina 512 (L) frecuencias ya que en el vector de 1024 valores la función CFFT. Es decir, CFFT devuelve para cada frecuencia la parte real en la posición n y la parte imaginaria en la $n+1$ para, por ello, determinar la resolución frecuencial (Δf) del espectro calculado por el DSP viene dado por:

$$\Delta f = \frac{F_m}{L} = \frac{48000\text{Hz}}{512 \text{ puntos}} = 93\text{Hz}$$

Para poder representar frecuencias entre 0Hz y 4kHz con intervalos de 93Hz en las 5 barras que posee el visualizador se ha decidido que la relación de frecuencia entre las 5 barras sea de 2^n . Es decir, la barra n ($0,2,3,4,5$) mostrará la frecuencia $2^n \cdot \Delta f$. Debido a que sólo se disponen de 5 puertos GPIO que son los que fijan el número de barras del visualizador, hemos decidido descartar la frecuencia de 187Hz obtenida para $n=1$ y en su lugar representar la frecuencia de 3kHz para $n=5$ con el fin de observar un ancho de banda mayor. Este proceso puede observarse en el programa implementado dentro de la función calculate_power en la cual se pasa como parámetro el punto (parte real y parte imaginaria) de la FFT del que quiere calcularse su potencia. En esta función se calcula el valor de la potencia de una frecuencia determinada, obteniendo el módulo a partir de la parte real y la parte imaginaria.

Una vez que se obtiene un vector denominado orden_magnitud en el que se almacena el valor de la potencia para cada una de las cinco bandas que hemos expuesto anteriormente se procede a mapear los valores de amplitud calculados dentro de los seis LEDs de

cada banda. Para ello se han definido seis umbrales que se han determinado a partir del análisis de varias señales de

audio, para que el visualizador esté lo más ajustado a las potencias que suelen tener las señales de audio. Por esto, se han definido los umbrales como potencias de 2, es decir, Rango_i ($i=0,1,2,3,4,5$) viene dado por 2^n para $n=2,4,6,7,8,9$.

Por último, se genera una señal de control que será la que encienda un número de LEDs determinado en cada una de las cinco bandas según los cálculos realizados en los procesos anteriores. Para poder generar una señal continua con diferente amplitud para seleccionar el número de LEDs a encender, se va a generar una señal PWM (Pulse Width Modulation) por cada uno de los cinco GPIO accesibles, para ello se implementa un bucle mediante el cual se recorre cada una de las bandas para obtener su amplitud. Este proceso se realiza 6 veces para establecer cuantos LEDs se encienden por cada barra o frecuencia a visualizar.

De esta forma se genera, un PWM variable, empleando la función USBSTK5505_waitusec(usec) para cada barra y es posible generar un nivel de continua por cada puerto GPIO en función de la potencia que se ha determinado anteriormente. Para configurar y poder emplear los GPIO ha sido necesario añadir al proyecto la librería usbstk5505_gpio.h y el driver usbstk5505_gpio.c. Las funciones empleadas están descritas en [3].

Las señales PWM generadas en los GPIO se conectarán al driver de corriente LM3915 de Texas Instruments [4] que posee los siguientes rangos de entrada:

LED	Threshold
5	220 mV
6	320 mV
7	440 mV
8	630 mV
9	890 mV
10	1.25V

Figura 3. Umbrales que deben superarse en los GPIO para activar cada uno de los LEDs

Para finalizar con este apartado, se adjunta el siguiente diagrama de flujo para facilitar la comprensión:

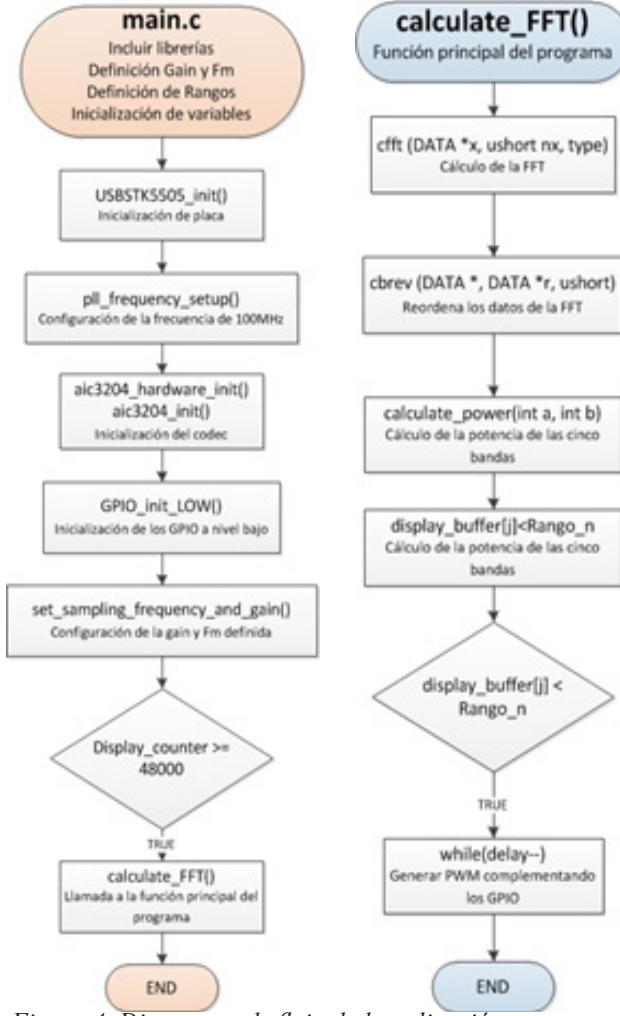


Figura 4. Diagramas de flujo de la aplicación programada. Diagrama general del programa (izquierda) y subprocesos que realiza la función calculate_FFT() (derecha)

2.2. Diseño e implementación del dispositivo hardware externo de visualización.

Anteriormente se ha nombrado la distribución del espectro en cinco bandas, de modo que el dispositivo hardware externo deberá disponer de al menos una matriz de LED de 5x6.

En primer lugar, para un correcto diseño, se debe conocer la codificación de las señales que va a recibir el dispositivo externo provenientes del DSP. En este caso, serán cinco señales analógicas codificadas en amplitud.

Una vez definidas las señales de entrada, se deben valorar las limitaciones del dispositivo encargado de la creación de la PCB. La ETSE-UV dispone de un

plóter fresador para la creación de PCB a simple y doble cara. Por tanto, el diseño se ha visto limitado por las características del plóter siguientes:

- Anchura mínima de las pistas de 0,8 mm.
- Separación mínima entre pistas de 0,5 mm.
- Taladro mínimo de 0,6 mm.

Además, se deben considerar los formatos de precisión para los archivos generados, para este diseño ha sido suficiente emplear una precisión de 0,01 mm (métrico 4:2). El formato de gerbers empleado ha sido el RS-274X, ya que, proporciona información que el técnico puede entender empleando texto en código ASCII, además de la información referida a la creación de la PCB.

Partiendo de las limitaciones del plóter y de las especificaciones marcadas por el proyecto, se procede a la elección de los elementos que conformarán la PCB. A continuación se listan los componentes relevantes:

- LED Rojo de 5mm, 700 nm y 120 mcd.
- LED Amarillo de 5 mm, 585 nm y 70 mcd.
- LED Verde de 5 mm, 568 nm y 80 mcd.
- Potenciómetro multivuelta de 100kΩ.
- LM3915N-1.

Todos los componentes seleccionados disponen de un pitch (paso entre pines) de 100 mils (0,1 pulgada), es decir 2'54 mm. La elección de componentes con esta característica común facilitará la labor de diseñar la PCB.

Además, al mismo tiempo que el LM3915N-1 nos proporciona el control de los LED, también nos proporciona una tensión estable de referencia de 1,25V. Esta tensión de referencia se empleará como tensión máxima de comparación con la señal de entrada, de modo que definirá la tensión a la que se encenderá el LED rojo, indicador de máxima potencia. Es importante disponer de una tensión de referencia estable,

como la que proporciona el CI, ya que, a partir de ella se definen las tensiones de encendido para cada LED. Esto se lleva a cabo mediante una batería de resistencias encargada de generar las tensiones de encendido para cada LED. Así como el potenciómetro es el encargado de regular la corriente que atraviesa los LED y en consecuencia, su brillo.

Definido todos los elementos necesarios, se procede al diseño en el software de diseño Altium Designer.

En primer lugar diseñaremos el esquemático que muestre de un modo más intuitivo lo que se desea conseguir. Para ello se deben obtener los modelos que representan cada uno de los componentes que vamos a emplear. En este caso no disponemos de librerías que nos aporten dichos modelos, por tanto, se procede a la creación del modelo y de su footprint.

Comenzaremos con la obtención de los datasheet de cada componente, éstos nos guiarán en la forma del modelo y la distribución de los pines según sus funciones. Escogemos el modelo del LM3915N-1 como ejemplo.

El LM3915N-1 es un driver de LEDs con modalidad LED a LED o en barra, es decir, es capaz de conectar un único LED en función de la señal de entrada o conectar ese y todos los anteriores.

El modelo de este componente se ha elaborado distribuyendo las señales de entrada en el lado izquierdo y las salidas en el derecho, dejando en la parte superior e inferior los pines destinados a la alimentación del CI (Circuito Integrado).

El orden de los pines no es relevante mientras se respeten las funciones definidas en el datasheet, ya que, el orden no afecta al modelo físico sino que proporciona esquemáticos más claros e intuitivos, evitando cruces de conexiones innecesarios. Tras efectuar la distribución de pines, se deben ajustar para que mantengan una distancia pin-pin suficiente que asegure que no habrán malas conexiones en el futuro.

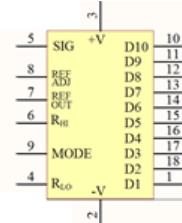


Figura 5. Modelo del LM3915N-1

Aplicando el mismo procedimiento para todos los componentes, completamos la librería de modelos de esquemático para el proyecto.

A continuación se deben diseñar los footprints, modelos que representan el componente real en una PCB, es decir, sirven para trasladar todos los componentes desde un esquemático a una PCB. Observando el datasheet se obtienen los datos referentes al componente real, como son la distancia pin a pin o las dimensiones del encapsulado, y a partir de ellos se generar el footprint.

Centrándonos en el componente LM3915N-1, el CI emplea un encapsulado DIP-18 (Dual in line Package), es decir, se compone de dieciocho pines, nueve por lateral y una separación de 2,54 mm entre pines.

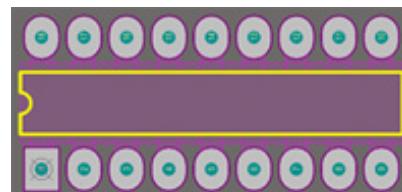


Figura 6. Footprint del LM3915N-1

A partir del footprint y añadiendo parámetros de altura y volumen del componente, se puede crear una simulación 3D del componente en cuestión. Esto es útil para diseños en los que la altura puede ser un factor relevante, como es este caso. En nuestro diseño hay seis potenciómetros multivuelta y ocho jumpers de selección que deben ser accesibles por el operario. Este hecho conlleva considerar la distribución de tal forma que no haya elementos excesivamente elevados alrededor de dichos componentes.

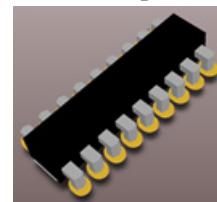


Figura 7. Modelo 3D del LM3915N-1

Este proceso de creación se ha aplicado a todos los componentes que se van a emplear en el diseño de la PCB.

Completada la librería del proyecto con los componentes necesarios se procede a generar un esquemático que incluya todos los componentes de un modo organizado e intuitivo.

El dispositivo hardware emplea una repetición del conjunto compuesto por un LM3915N-1, seis LEDs, un potenciómetro de $100\text{k}\Omega$ y un jumper que permite controlar la alimentación del integrado. Se dispondrá un conjunto para cada una de las columnas de LEDs que mostrarán la potencia de las bandas.

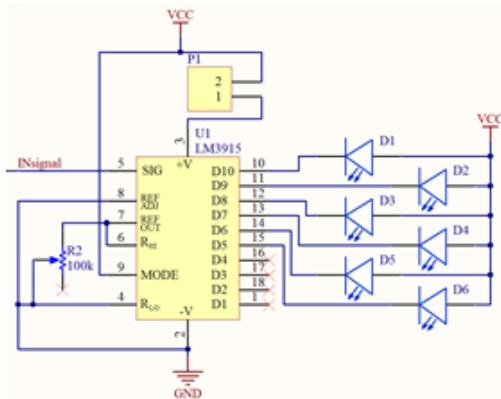


Figura 8. Componentes para una banda

Diseñado el conjunto que va asociado a cada columna LED se duplica tantas veces como sea necesario, en este caso, una por banda, es decir, cinco más una de reserva.

La segunda fase del diseño de la PCB se conoce como placement, es la distribución de los componentes en la PCB. Para asegurar un buen diseño, hemos obtenido referencias y pautas a seguir en [6].

Basándonos en la estructura que va asociada a cada columna y la necesidad de colocar todas las columnas juntas para formar una matriz que facilite la identificación de la banda y la potencia. Por una parte se ha empleado una distribución periférica de los componentes asociados a los LED, dejando el centro de la PCB disponible. Por otra parte, los LEDs son situados en forma de matriz de seis columnas y seis filas equidistantes entre sí. Esto facilitará la labor del operario al tener toda la información concentrada en un punto.

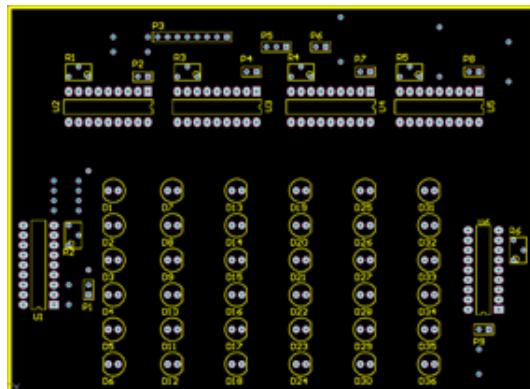


Figura 9. Distribución de los componentes en la PCB

Las dimensiones de la PCB se han reducido dentro de la medida de lo posible, ello ha llevado que algunas de las conexiones no se hayan podido efectuar del mismo modo que el resto. Para estos casos se han empleado conexiones aprovechando la cara opuesta de la PCB, ya que, ésta no se va a emplear como plano de cobre por el que distribuir pistas sino que únicamente se va a emplear para colocar los componentes y las conexiones mencionadas. En el anexo I se adjuntan los resultados del routeado en ambas caras.

Cabe destacar el ancho de las pistas, ya que, a través de las pistas de alimentación puede llegar a circular una corriente igual a 20 mA/LED , es decir, 720 mA . Una pista que no esté correctamente diseñada puede sufrir desperfectos con el paso continuo de corriente de esta magnitud. Para este caso nos hemos basado en un espesor de cobre de $35\mu\text{m}$, que es el empleado en las PCB comunes, y hemos dimensionado las pistas para corrientes superiores a la máxima prevista, asegurando un correcto funcionamiento y durabilidad.

Una vez, distribuidos los componentes y routeado todas las pistas, se puede obtener una previsualización de la PCB resultante a partir de los gerbers generados.

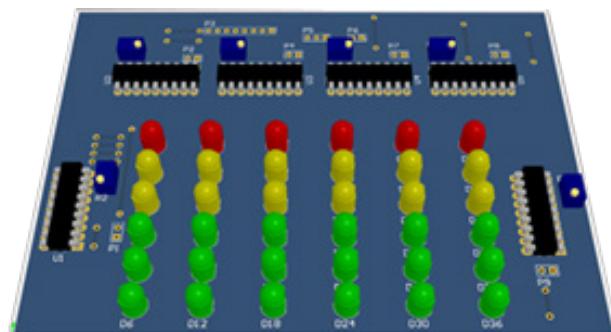


Figura 10. Previsualización 3D de la PCB

Por último, sólo queda trasladar los archivos generados hasta los técnicos de laboratorio, encargados de la creación de la PCB física. Tras la adquisición de los componentes físicos y su montaje en la PCB, se procede a la soldadura. Los PADs definidos son del mínimo tamaño permitido, por tanto, se ha requerido usar estaño de precisión con un concentración de 99,3% Sn y un 0,7% Pb y 0'1mm de diámetro, esto asegurará una disposición de la cantidad justa de estaño y su correcta adherencia.

Tras efectuar todas las soldaduras y limpiar la superficie próxima a estas, ya que, el estaño empleado tiene un núcleo de resina que facilita su fundición y mantiene la soldadura sin óxido, se ha procedido a la comprobación de todas las pistas. Dicha comprobación es necesaria para asegurar la integridad de la PCB y de sus componentes. Comprada la PCB se ha suministrado una capa superficial de barniz antioxidante por medio de un aerosol de modo que protegemos las conexiones del óxido y, además, le aporta un aspecto más reluciente al resultado.

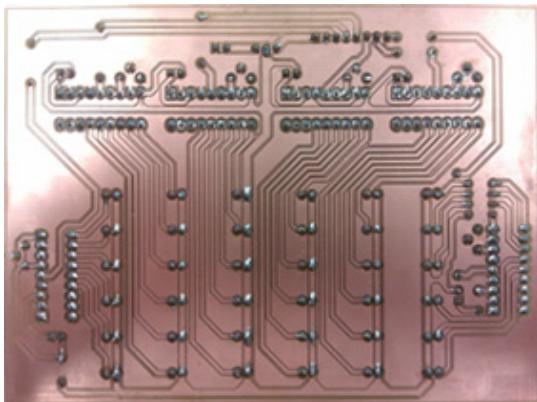


Figura 11. Cara inferior de la PCB terminada

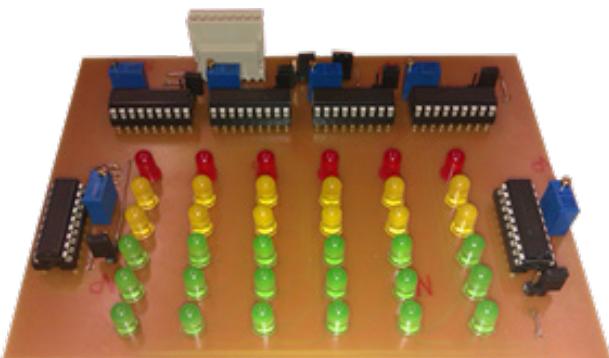


Figura 12. Cara superior de la PCB terminada

III. RESULTADOS

Tras terminar el montaje del hardware y realizar las debidas comprobaciones de integridad de las pistas, se procede a la puesta en marcha de la PCB.

En primera instancia, se observa que al conectar los canales de entrada para cada banda, éstas encienden la totalidad de los LEDs. Esto no es del todo cierto, ya que, la tensión de la señal analógica que define la cantidad de LEDs que deben encenderse, está modulada por ancho de pulso, o PWM. Esta modulación efectúa cambios de tensión entre $V_{máx}$ y $V_{mín}$ a una frecuencia determinada, del orden de MHz. Este hecho se traduce en intermitencias a alta frecuencia, inapreciables para el ojo humano. Dicho fenómeno se deduce a partir del conocimiento de que $V_{máx}$ es mayor que la tensión de referencia asociada al LED que representa la potencia máxima de la banda, por tanto, en la parte alta del pulso, la columna LED se encenderá en su totalidad y en la parte baja se apagará, todo ello a la frecuencia del PWM. Los LEDs se encienden y se apagan a una frecuencia que el ojo humano interpreta como constantemente encendidos pero con brillo atenuado.

Conociendo el problema que se nos ha planteado, se han valorado distintos tipos de filtros como pueden ser los filtros activos, característicos por tener una impedancia de entrada elevada y una de salida muy baja, importante para no afectar al resto del circuito. Aunque, como se comentaba anteriormente, la frecuencia del PWM es del orden de MHz, por tanto, un filtro paso-bajo analógico de primer orden a una frecuencia suficientemente baja, atenuaría hasta eliminar la fPWM.

A partir de las deducciones anteriores, se plantea emplear una red RC para cada canal, de modo que al eliminar la componente alterna del PWM la señal quedaría en el valor medio de la señal modulada, es decir, un nivel de tensión de frecuencia cero que los LM3915N-1 puedan interpretar en las comparaciones con las tensiones de referencia para cada LED. Definido el tipo de filtro a emplear, se debe escoger una frecuencia de corte y una capacidad estándar, en nuestro caso, se ha escogido 1kHz y 47 nF. Por tanto:

Una vez conocidos todos los datos necesarios para el diseño de la red RC, se ha procedido a la creación de una pasarela que se conecta a la entrada de la PCB, filtrando todas las frecuencias superiores a 1kHz, en el caso de 1Mhz la atenuación teórica es de 60 dB, es decir, a efectos visibles en las columnas LED, las intermitencias han desaparecido y los niveles de potencia se definen claramente.

$$R = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot 1\text{kHz} \cdot 47\text{nF}} = 3386,27\Omega \simeq 3,3k\Omega$$

El motivo por el que se ha empleado esta clase de modulación es su simplicidad de implementación en puertos digitales como los GPIO del módulo DSP, aunque hayan requerido una etapa intermedia de filtrado.

Una vez comprobado el funcionamiento del visualizador hardware, se realizó la interconexión entre dicho módulo y los GPIO del DSP. De esta forma, se realizó un calibrado de los umbrales que deben proporcionar los GPIO a la entrada de control de los dispositivos LM3915, verificando que cada tensión umbral superada incrementa en uno el número de LEDs encendidos.

IV. CONCLUSIONES

Este proyecto ha estimulado nuestra actitud hacia los conceptos de la asignatura, es decir, hemos llevado a la práctica conceptos teóricos y conseguido relacionarlos con el propio proyecto, como por ejemplo, el empleo de FFT, de un DSP de coma fija, análisis de señales... para poder efectuar la primera parte del proyecto. El diseño de la segunda parte del proyecto, el diseño hardware de un visualizador gráfico, nos ha servido para iniciarnos en el ámbito de creación de PCB tanto desde el punto de vista del diseño como de la implementación de la misma.

Para concluir, vamos a revisar el cumplimiento de las especificaciones establecidas en el anteproyecto:

- Se ha empleado el C5505 eZdsp de Texas Instruments.
- Se ha implementado una aplicación de procesado de señales de audio en tanto que se ha hecho uso del

cálculo de la fft.

- Los procesos realizados en el programa están adaptados a un dispositivo de coma fija.

- Se han empleado las funciones cfft y cbrev de la librería DSPLib.

REFERENCIAS

A continuación, se enumeran las diferentes referencias bibliográficas a las que se hacen referencia a lo largo de todo el documento.

[1] Página web de Texas Instruments, documento TMS320C55x DSP Library Programmer's Reference.

<http://www.ti.com/lit/ug/spru422j/spru422j.pdf> (Consultada: Mayo 2012).

[2] Página web de Tecnun, documento Transformada Discreta de Fourier (DFT). <http://www.tecnun.es/asignaturas/tratamiento%20digital/tema6.pdf> (Consultada: Mayo 2012).

[3] Página web de Texas Instruments, documento TMS320C5515/14/05/04/VC05/VC04 DSP General-Purpose Input/Output (GPIO). <http://www.ti.com/lit/ug/sprufo4/sprufo4.pdf> (Consultada: Mayo 2012).

[4] Página web de Texas Instruments, documento LM3915 Dot/Bar Display Driver. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3915.pdf> (Consultada: Mayo 2012).

[5] Página web de la asignatura Introducción al Procesado Digital de Señales (IPDS). <http://www.ti.com/lit/ug/spru422j/spru422j.pdf> (Consultada: Mayo 2012)

[6] Página web de Alternatezone, documento PCB design Tutorial.

<http://www.alternatezone.com/electronics/files/PCBDesignTutorialRevA.pdf>

(Consultada: Mayo 2012)



Realimentación visual para brazos manipuladores. Un caso práctico

Jesús González Villagómez, susogy@ieee.org.
Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Sevilla.
Escuela Superior de Ingenieros. Avda. de los Descubrimientos, s/n.

Resumen- El objetivo del presente trabajo es proporcionar una implementación para un caso típico en la industria, como es el uso de sistemas de visión por parte de brazos manipuladores para la realización de tareas de montaje o ensamblado. Para ello se utiliza una arquitectura de realimentación visual que depende tanto del modelo del objeto a seguir como del modelo de la cámara utilizada.

Palabras clave: Visión artificial, control visual.

1 INTRODUCCIÓN

La realización de tareas por parte de sistemas automatizados o robotizados en entornos estructurados con presencia de objetos cuya posición y orientación son conocidas, es un problema que se ha tratado con profundidad durante las últimas décadas. Sin embargo, si se considera la evolución de los procesos de ensamblaje o industriales, donde la configuración del contexto puede cambiar continuamente, se pone de manifiesto lo vital que es dotar de información sensorial extra al sistema, dado que un brazo manipulador, por ejemplo, tan solo dispone (a priori) de elementos sensoriales internos (medición de fuerza o posición en las articulaciones).

La utilización de un sistema sensorial externo de visión en la realización de una tarea por parte de un sistema automatizado, tiene la denominación genérica de Control Visual (Visual Servoing) [4]. El sistema de visión obtiene información visual de la escena en forma de características de imagen, que son realimentadas al lazo de control del sistema.

Los primeros estudios [5] aplicados sobre todo a procesos industriales ante la presencia de sistemas robotizados, desacoplaban las acciones de la extracción de imágenes y el control del robot, de tal manera

que el controlador, después de recibir la información visual y determinar la posición a la cual moverse, ordenaba al robot a moverse a dicha posición asumiendo que no se había producido ningún cambio en la escena, esto es, el entorno permanece estático desde que el comando de movimiento fue ejecutado. La ventaja de este tipo de control es su simplicidad, siendo ésta una de las razones (entre otras) por la que tan sólo puede ser aplicable a sistemas en los que la tarea a realizar esté determinada y no varíe (muy común en entornos industriales).

En contraposición, el control visual permite que el sistema de visión cierre el lazo de control, de manera que en cada ciclo la información visual del entorno o de algún objeto de interés situado en la escena sea actualizada de forma que el controlador corrija el movimiento a una nueva posición de destino. Esta tarea se realizaría bien de forma indefinida o hasta que el objeto a seguir haya desaparecido de la escena, con lo que se volvería a una posición por defecto. La calidad del seguimiento y del control dependen del tipo y número de características de la imagen que se utilicen, donde la redundancia juega un papel muy importante (muy habitual en las tareas de control visual).

Lo que se propone en el presente trabajo es una implementación práctica del control visual. Se trata de dotar a un supuesto brazo manipulador de la capacidad de disponer de información visual para interaccionar con el entorno. Dicho mecanismo no es propio de brazos manipuladores: la misma técnica puede ser incorporada a la arquitectura de control de vehículos aéreos autónomos [8], por ejemplo, para el proceso de generación de trayectorias o el seguimiento de las mismas.

La organización del presente documento consta de una primera sección en la que se aporta una descripción de un brazo manipulador común en la industria, junto con las ecuaciones que rigen su cinemática. En

la sección III se modela el sensor óptico, y toda la información visual que se puede obtener del mismo, mediante el algoritmo propuesto en la sección IV, donde se expone de forma gráfica la solución propuesta para este caso práctico. Por último, en la sección V se plantean algunas consideraciones y posibles líneas de trabajo.

2 PLATAFORMA ROBÓTICA.

En esta sección se presenta una descripción detallada del manipulador robótico planteado para su integración en este caso práctico, el modelo de Mitsubishi Melfa RV-12SDL, mostrado en la figura 1.

2.1 Mitsubishi Melfa RV12SDL

La serie Melfa de Mitsubishi comprende una gran variedad de brazos articulados y robots de tipo SCARA, diseñados para satisfacer de forma óptima los requerimientos de prácticamente todo tipo de aplicaciones industriales, debido a las grandes prestaciones que poseen [1], con un coste estimado por hora de trabajo de alrededor de 1,65 €.

La nomenclatura de los distintos modelos de la serie Melfa se puede observar en la figura 2, y más concretamente, para el modelo actual, destacan las siguientes características:

- RV: Robot de brazo articulado vertical.
- 12: Capacidad de carga en Kg.
- SD: Se corresponde con la serie SD. La principal diferencia entre la serie SD y SQ es que la segunda incluye una CPU.
- L: Ejecución con brazo largo.

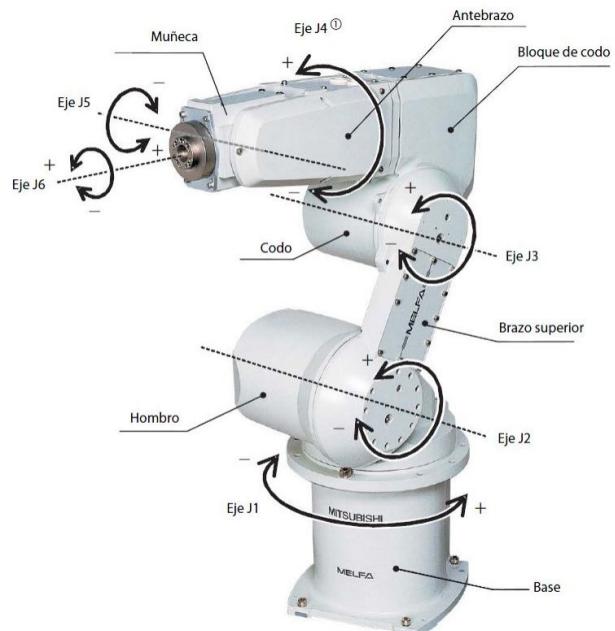


FIGURA 1. Manipulador Mitsubishi Melfa modelo RV-12SDL

Este modelo resulta ideal para la manipulación de piezas en la fabricación industrial o para el ensamblaje de componentes de planta. Posee una configuración de 6 ejes, una velocidad máxima de 9500mm/s, una repetibilidad de $\pm 0,05\text{mm}$, y un peso total de 98kg. De forma general, todos los modelos de la serie en su conjunto disponen de las siguientes características:

- Transmisión de tipo Harmonic Drive de alta precisión, para obtener un alto grado de repetibilidad, con una precisión de $\pm 0,005\text{mm}$ con un tiempo de ciclo de 0,28seg.
- Proceso de aprendizaje muy rápido, gracias a la combinación del toolbox de programación (RT Tool-Box2) y el software de simulación MELFA WORKS.
- Posee además Ethernet y CC-Link, para integración en redes de control industriales e interfaz Profibus.
- Gracias al controlador multitarea CR2D, permite la conexión con multitud de sistemas de procesado de imágenes.

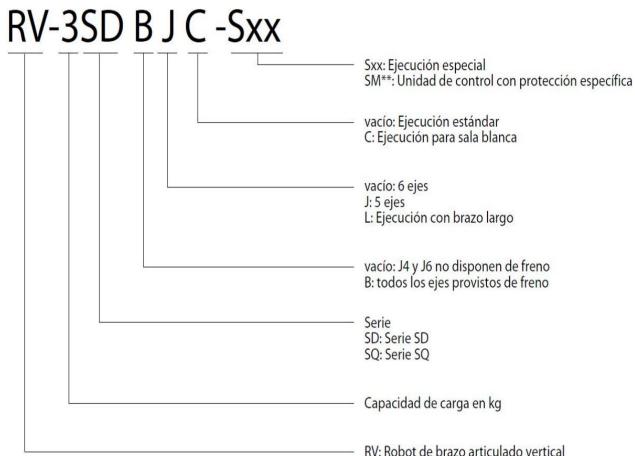


FIGURA 2. Nomenclatura serie Melfa de Mitsubishi.

2.2 Geometría. Estudio del modelo cinemático

El estudio del modelo cinemático directo, utilizando la técnica extendida sistematizada de Denavit-Hartenberg, es necesario para que pueda ser incorporado en el esquema de realimentación visual propuesto. En general, el modelo directo viene dado por una función, la cual permite expresar la posición y orientación del sistema de referencia objetivo en el espacio cartesiano p en términos de las variables articulares q:

$$\mathbf{p} = \varphi(\mathbf{q})$$

FORMULA 1

donde φ es un conjunto de funciones no lineales, y para este caso en particular:

$$\mathbf{q} = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4 \ \theta_5 \ \theta_6]^T$$

FORMULA 1.2

El siguiente paso consiste en la asignación de ejes a las distintas articulaciones, para la obtención de los parámetros de Denavit-Hartenberg, que quedan identificados por los siguientes elementos (junto a la asignación de sistemas de coordenadas, en la figura 3):

- α_{i-1} : Ángulo (rad) de rotación necesario para convertir \hat{z}_{i-1} a \hat{z}_i medido sobre el eje \hat{x}_{i-1} .

- a_{i-1} : Traslación (m); distancia entre \hat{z}_{i-1} a \hat{z}_i medido sobre el eje \hat{x}_{i-1} .

- θ_i : Ángulo (rad) de rotación necesario para convertir \hat{x}_{i-1} a \hat{x}_i medido sobre \hat{z}_i .

- d_i : Traslación (m); distancia entre \hat{x}_{i-1} a \hat{x}_i sobre \hat{z}_i .

Tal y como se puede observar en las figuras 2 y 3, el conjunto de articulaciones del manipulador y sus principales características quedan recogidas en el Cuadro 1.

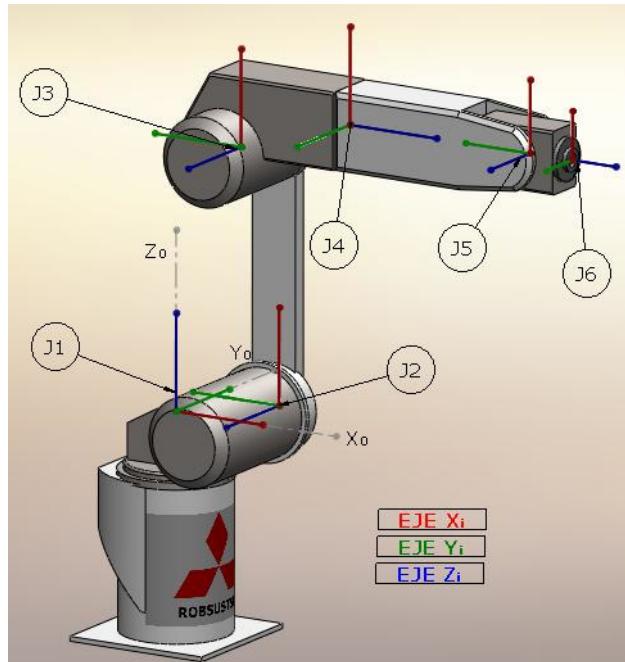


FIGURA 3 Simulación en SolidWorks de la posición y orientación de los sistemas de coordenadas asociados a cada articulación para el estudio del modelo cinemático directo.

Articulación	Tipo	Rango Operacional	Total	Vel.Máx.
J1-Base	Rotación	[-170°, 170°]	340°	230°/s
J2-Hombro	Rotación	[-100°, 130°]	230°	172°/s
J3-Codo	Rotación	[-130°, 160°]	290°	200°/s
J4-Antebrazo	Rotación	[-160°, 160°]	320°	352°/s
J5-Muñeca Pitch	Rotación	[-120°, 120°]	240°	450°/s
J6-Muñeca Roll	Rotación	[-360°, 360°]	720°	660°/s

CUADRO 1. CONJUNTO DE ARTICULACIONES

Tras el estudio geométrico del manipulador, se estima que los parámetros de Denavit Hartenberg necesarios para obtener el modelo directo del manipulador, son los mostrados en el Cuadro 2. El primer sistema de referencia, el considerado como universal, se ha establecido coincidente en el mismo punto que el sistema de referencia de la primera articulación. Las medidas mostradas en esta tabla son en mm para la longitud, y en grados para la rotación.

Elementos		G.d.L.	Parámetros		
Relación			α_{i-1}	a_{i-1}	θ_i
Referencia	J1	1	0	0	θ_1
J1	J2	2	$\frac{\pi}{2}$	L_2	θ_2
J2	J3	3	0	L_3	θ_3
J3	J4	4	$\frac{\pi}{2}$	L_{4a}	θ_4
J4	J5	5	$-\frac{\pi}{2}$	0	θ_5
J5	J6	6	$\frac{\pi}{2}$	0	θ_6

Elementos		Long.Brazo	Trasl.Sistemas	Parámetro
J1	J2	—	150	L_2
J2	J3	560	—	L_3
J3	J4	80	265	L_{4a}, L_{4d}
J4	J5	—	405	L_5
J5	J6	—	97	L_6

CUADRO 2. PARÁMETROS DE Denavit-Hartenberg.

Reescribiendo (1) como

$$\mathbf{p} = \varphi(\mathbf{q}) = {}^0\mathbf{T} {}^1\mathbf{T} {}^2\mathbf{T} {}^3\mathbf{T} {}^4\mathbf{T} {}^5\mathbf{T} {}^6\mathbf{T}$$

FORMULA 2

para el caso particular de este estudio, se dispone de seis articulaciones y de un sistema de referencia universal $\{\mathcal{W}\}$, el cual es coincidente con el primer sistema de referencia físico del robot, el etiquetado como $\{1\}$ (base). Dados los parámetros anteriores ($\alpha_{i-1}, \theta_i, d_i$ y a_{i-1}), la obtención del modelo geométrico directo del robot es inmediata. Suponiendo la expresión que liga un sistema de referencia i con un hipotético $i-1$, la matriz de transformación homogénea que liga ambos sistemas es la siguiente¹:

$${}^{i-1}\mathbf{T} = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ s\theta_i c\alpha_{i-1} & c\theta_i c\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} d_i \\ s\theta_i s\alpha_{i-1} & c\theta_i s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

FORMULA 3

Para obtener la relación entre el sistema de referencia solidario al efector final y el sistema de referencia de la base (coincidente con el universal), necesario para la posterior fusión con el sistema de la cámara, bastaría con realizar el producto del conjunto de matrices de transformación homogéneas que ligan a los distintos sistemas articulares:

$${}^0\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{3x3} & \mathbf{t}_{3x1} \\ \mathbf{0}_{1x3} & 1 \end{bmatrix} = \varphi(\mathbf{q}) = {}^0\mathbf{T} {}^1\mathbf{T} {}^2\mathbf{T} {}^3\mathbf{T} {}^4\mathbf{T} {}^5\mathbf{T} {}^6\mathbf{T}$$

FORMULA 3.1

donde \mathbf{R} es la matriz de rotación (orientación del efector final) y \mathbf{t} es el vector de traslación (posición en coordenadas cartesianas del efector final respecto del sistema de la base). Como conclusión, a partir del estudio del modelo cinemático directo del brazo manipulador, se dispone de lo imprescindible para,

¹Donde c y s corresponden respectivamente al cálculo del seno y coseno

utilizando la unidad de control propia del dispositivo, realizar aplicaciones industriales que requieran de sistemas ópticos.

Sin embargo, es posible continuar el estudio para obtener ciertos parámetros relativos a la dinámica del conjunto. Estos incluyen, entre otros, el cálculo de la densidad y el volumen del brazo, así como los momentos de inercia asociados a cada articulación por paralelepípedos. Dado que en este trabajo lo que interesa es la disposición entre garra/efector final y cámara y el estudio de la realimentación visual, no se profundizará en el control dinámico del robot, por asumir que es la unidad de control la que gestiona dicha tarea.

3 SENSOR ÓPTICO

En la presente sección se introduce el sensor óptico, el cual proporcionará la información visual complementaria (${}^g\mathbf{T}_o$) necesaria para cerrar el lazo de control y posicionar el *objeto de interés* respecto a la base del manipulador. Se introducen los parámetros internos para modelar el sistema de la cámara en conjunción con parámetros externos o extrínsecos que ligan la relación entre objeto y sensor visual. Por último se presenta el posicionamiento tridimensional del objeto de interés.

3.1 Modelado

3.1.1 Modelo Pinhole

La modelización del sistema de la cámara planteando se basa en el modelo pinhole, en el cual se realiza una proyección en perspectiva de un punto espacial \mathbf{M} a un punto \mathbf{m} en el plano de la imagen a través del centro óptico de la cámara \mathcal{C} . El punto espacial \mathbf{M} con coordenadas (X_c, Y_c, Z_c) con referencia al sistema de coordenadas de la cámara, queda representado en el plano de la imagen por un punto \mathbf{m} con coordenadas (u, v) , o también denominadas coordenadas centrales, con referencia al punto central de la imagen (u_o, v_o) (figura 4), donde el punto principal de la cámara se encuentra en el eje óptico de la misma a una distancia focal f de su centro (sensor), en el que se verifica



$$\frac{u}{X_c} = \frac{v}{Y_c} = \frac{f}{Z_c}$$

FORMULA 4

La expresión anterior se denomina *transformación en perspectiva*, donde se ha supuesto un modelo libre de distorsión óptica.

3.1.2 Parámetros intrínsecos

El punto **m** también puede referirse con respecto al borde superior izquierdo de la imagen que se da en coordenadas (x, y) en píxeles, o también denominadas como coordenadas laterales, realizando la siguiente transformación:

$$x = u_0 + f_x u$$

FORMULA 5

$$y = v_0 + f_y v$$

FORMULA 6

que de forma matricial puede también escribirse como:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & \gamma & u_0 \\ 0 & f_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{ó} \quad \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}$$

FORMULA 7

donde la matriz **K**² es la denominada matriz de parámetros intrínsecos, siendo ésta una matriz de 3x3 que describe tanto la geometría como la óptica de la cámara. Se tiene que f_x y f_y son las denominadas distancias focales³ en las direcciones \vec{x} e \vec{y} respectivamente.

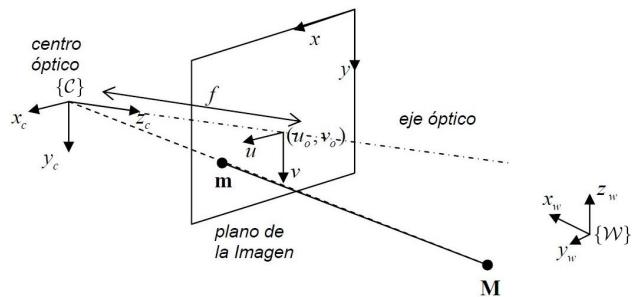


FIGURA 4. Modelo pinhole.

²El coeficiente γ representa la pérdida de perpendicularidad entre los ejes de la imagen. Se asume cero, puesto que prácticamente no afecta para los cálculos posteriores.

³Se puede considerar como la distancia del sensor hasta el origen del sistema de referencia del plano de la imagen.

Una forma alternativa de expresar estas distancias focales es la siguiente:

$$f_x = k_x f$$

FORMULA 8

$$f_y = k_y f$$

FORMULA 9

donde k_x y k_y son los factores de escala, que relacionan el tamaño del píxel con la distancia real. Si se asume que $f=1$, las coordenadas del punto **m** se denominan coordenadas normalizadas (representan coordenadas pertenecientes a un plano imagen ideal ubicado a una distancia del centro óptico igual a la unidad, y está representado por **q**), a partir de la ecuación (4) se tiene que:

$$\tilde{\mathbf{q}} = \frac{1}{Z_c} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = (u, v, 1)^T$$

FORMULA 10

donde el símbolo \sim representa que el punto se expresa en coordenadas proyectivas. Las coordenadas normalizadas se pueden conseguir a partir de las coordenadas en píxeles **m̃** a través de la matriz de parámetros intrínsecos **K** despejando **q̃** de la relación $\tilde{\mathbf{m}}=\mathbf{K}\tilde{\mathbf{q}}$.

3.1.3 Parámetros extrínsecos

La superficie de los puntos de la escena se corresponde con el sistema de coordenadas, podríamos decir, del mundo real, con un origen $\{\mathcal{W}\}$, y un sistema de ejes de la forma (X_w, Y_w, Z_w) . Dado un punto de un objeto, **P**, éste queda expresado en el sistema de coordenadas respecto a $\{\mathcal{W}\}$ de la forma $(P_{x_w}, P_{y_w}, P_{z_w})$. Supongamos ahora que se establece otro sistema de referencia, por ejemplo, en el origen $\{\mathcal{C}\}$, y cuyos ejes quedan etiquetados como (X_c, Y_c, Z_c) , situado en el centro del eje óptico de la cámara, tal y como se muestra en la Figura 5. Gracias a esta relación geométrica se pueden definir cuáles son los parámetros extrínsecos⁴ del modelo, los que determinarán la posición y orientación del sistema de coordenadas de la cámara respecto del sistema de coordenadas del mundo real o del objeto⁵.

⁴También denominada como técnica de calibración externa.

⁵La definición puede ser al revés, considerando el sistema de referencia de la cámara como el origen.

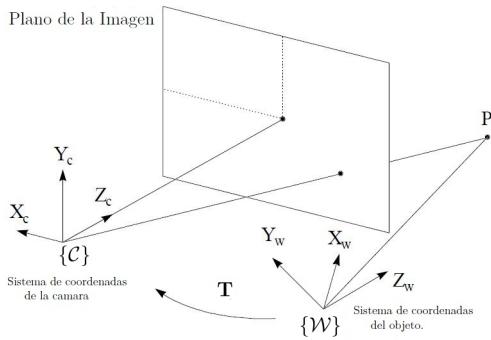


FIGURA 5. Relación geométrica-espacial entre el sistema de coordenadas de la cámara y el sistema de coordenadas del objeto.

La posición del centro óptico $\{C\}$ respecto a $\{W\}$ se da mediante el vector de *traslación* t :

$$t = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$$

FORMULA 11

y la orientación de los ejes del sistema de la cámara respecto al sistema de ejes del objeto de referencia viene dada por la matriz de rotación R (cuadrada de orden 3), la cual puede ser obtenida a partir del producto de matrices de las tres rotaciones simples en cada eje. En esta situación, una rotación de ϕ grados alrededor del eje \mathfrak{X} se expresará como $\text{Rot}(\mathfrak{X}, \phi)$:

$$\text{Rot}(X, \phi_x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi_x & -\sin\phi_x \\ 0 & \sin\phi_x & -\cos\phi_x \end{bmatrix}$$

FORMULA 12

$$\text{Rot}(Y, \phi_y) = \begin{bmatrix} \cos\phi_y & 0 & \sin\phi_y \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\phi_y & 0 & \cos\phi_y \end{bmatrix}$$

FORMULA 13

$$\text{Rot}(Z, \phi_z) = \begin{bmatrix} \cos\phi_z & -\sin\phi_z & 0 \\ \sin\phi_z & \cos\phi_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

FORMULA 14

Así, cámara y mundo quedan relacionados cumpliendo la siguiente expresión:

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} + t$$

FORMULA 15

Por lo que usando lo anterior, para un punto cual-

quiero, P , con componentes $(Px_{\omega}, Py_{\omega}, Pz_{\omega})$ respecto al sistema de coordenadas $\{W\}$, se puede obtener su representación respecto al sistema de coordenadas $\{C\}$, quedando sus componentes como (Px_c, Py_c, Pz_c) usando (15) como sigue

$$\begin{bmatrix} Px_c \\ Py_c \\ Pz_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} Px_{\omega} \\ Py_{\omega} \\ Pz_{\omega} \end{bmatrix} + t$$

FORMULA 15.1

La ecuación anterior se suele representar también como una única matriz cuadrada de dimensión 4, expresa en forma de coordenadas homogéneas

$$\begin{bmatrix} \mathbf{P}_c \\ 1 \end{bmatrix} = {}^c\mathbf{T}_w \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{\omega} \\ 1 \end{bmatrix}$$

FORMULA 16

donde la matriz ${}^c\mathbf{T}_w$ indica la matriz respecto del sistema de coordenadas de la cámara, teniendo la forma:

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{3x3} & \mathbf{t}_{3x1} \\ \mathbf{0}_{1x3} & 1 \end{bmatrix}$$

FORMULA 17

3.1.4 Proceso de calibración

En la calibración de la cámara se estiman los parámetros intrínsecos y extrínsecos. Su precisión es importante pues a partir de ellos se obtiene información métrica de la escena tal como dimensiones reales del objeto, profundidad, movimiento a partir de imágenes, posiciones, orientaciones, etc. También se determinan las distorsiones geométricas producto de las imperfecciones de la cámara (distorsiones *radial* y *tangencial*).

La calibración de la cámara es llevada a cabo al observar un objeto de calibración cuya geometría en el espacio 3D es conocida con muy buena precisión. Usualmente el objeto de calibración consiste en uno o varios planos (si hay varios planos, suelen establecerse perpendiculares entre sí) en los cuales se ha impreso un determinado patrón de calibración. Los parámetros de la cámara son recuperados a partir de la relación entre las coordenadas tridimensionales del objeto con sus correspondientes proyecciones bidimensionales en la imagen, como por ejemplo en el método de transformación lineal directa (DLT). Así, el método propuesto hace uso de un objeto con úni-

co patrón de calibración impreso, muy generalizado, denominado *tablero de ajedrez*, combinando el uso de un método basado en el algoritmo de Zhang, en el cual los parámetros de la cámara son obtenidos a partir de la transformación 2D entre el plano del patrón y el plano de la imagen.

En la bibliografía se puede encontrar referencia [2] a un toolbox de calibración para *Matlab* muy extendido, el cual, conociendo el ancho de cada uno de los «cuadros» del tablero, para una cámara monocroma de resolución (HxV) 752x480 pixels, con sensor CMOS de 1/3" (pixel cuadrado de 6 μ m de ancho y alto), en concreto el modelo *uEye UI-1220-M* de *IDS*, a la que se le ha acoplado una óptica fija estándar *COSMICAR/PENTAX* de 12mm de distancia focal nominal, ha devuelto los valores de calibración interna mostrados en el Cuadro 3.

Parámetro	Est (px)	Comentarios
f_x	2043.2402	Anchura efectiva del pixel de 6 μ m (equivalente a 12.259442mm)
f_y	2044.6518	Altura efectiva del pixel de 6 μ m (equivalente a 12.267911mm)
c_x	354.8575	Coord x del punto principal en la imagen.
c_y	240.4531	Coord y del punto principal en la imagen.
p_1	-0.3668	
p_2	0.9305	Coeficientes de distorsión radial de la lente.
p_3	0.00008	
t_1	-0.0005	Coeficientes de distorsión tangencial de la lente.
t_2	0.0000	

CUADRO 3. PARÁMETROS INTRÍNSECOS DE CALIBRACIÓN

El proceso llevado a cabo incluye la toma de multitud de planos del mismo objeto, en condiciones similares, cambiando la relación aparente cámara-objeto de calibración. Dicho toolbox permite obtener al mismo tiempo una representación gráfica de los distintos valores de los parámetros extrínsecos extrapolados, tal y como se puede observar en la figura 6.

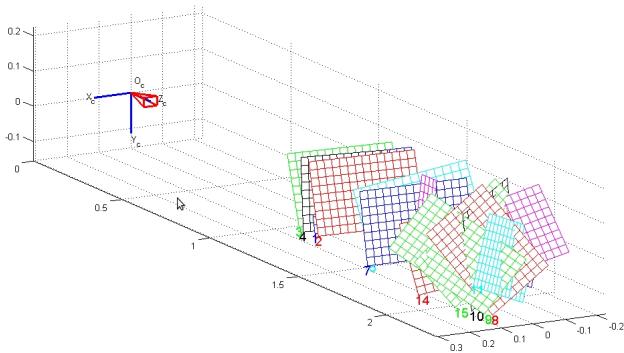


FIGURA 6. Representación de los parámetros extrínsecos del sistema cámara-objeto.

3.2 Posicionamiento 3D mediante el sistema de visión

El sistema completo estará formado por la cámara, cuyo sistema de coordenadas ligado se etiqueta como $\{\mathcal{C}\}$, acoplada rígidamente a una plataforma sobre el brazo manipulador próxima al efector final (sistema $\{\mathcal{G}\}$) y un objeto de control apropiado para la tarea a realizar. Por otro lado, se propone que el objeto visualizado por la cámara sea una plantilla plana que se corresponde con el objeto de calibración usado para la calibración interna, es decir, el denominado *tablero de ajedrez*. El sistema ligado al mismo se denomina $\{\mathcal{O}\}$.

En general, tal y como se ha expresado en (17), la posición y orientación de un sistema cualquiera $\{\mathcal{B}\}$ respecto a otro sistema $\{\mathcal{A}\}$ podría expresarse mediante la matriz de transformación homogénea ${}^a\mathbf{T}_b$:

$${}^a\mathbf{T}_b = \begin{bmatrix} {}^a\mathbf{R}_b & {}^a\mathbf{t}_b \\ \mathbf{0}_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix}$$

FORMULA 17.1

De manera que planteando la posición y orientación del objeto $\{\mathcal{O}\}$ respecto de $\{\mathcal{W}\}$ (base del manipulador):

$${}^w\mathbf{T}_o = \begin{bmatrix} {}^w\mathbf{R}_o & {}^w\mathbf{t}_o \\ \mathbf{0}_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix}$$

FORMULA 18

Para el cálculo de la relación anterior, y recapitulando los elementos de los cuales se dispone, se tiene:

- Relación entre el sistema de referencia inercial (coincidente con la base, $\{\mathcal{W}\}$) con el efector final ($\{\mathcal{G}\}$), gracias al cálculo del modelo cinemático directo: ${}^w\mathbf{T}_g$
- Haciendo uso del sistema de visión, relación entre el sistema de referencia de la cámara ($\{\mathcal{C}\}$) y el objeto de referencia ($\{\mathcal{O}\}$): ${}^c\mathbf{T}_o$.
- Falta el nexo de unión entre la base del manipulador y la cámara. En este caso, la matriz ${}^g\mathbf{T}_c$, calculada a partir de un proceso de calibración fuera de línea. Una propuesta pudiera ser el método conocido como *hand-eye calibration* de Tsai

y Lenz (figura 7), tradicionalmente empleado para la calibración entre la cámara y el efecto final de un robot manipulador al que está rígidamente acoplada aquélla, en el cual también se hace uso del mismo objeto de calibración utilizado para la calibración de la cámara. El método parte de la captura de varias imágenes desde diversos puntos de vista de dicho objeto, el cual debe permanecer inmóvil, mientras se varían las posiciones de la cámara haciendo uso del brazo articulado. Para cada uno de los puntos de vista, debe registrarse la posición del efecto final del brazo manipulador y realizar una estimación de la posición y orientación del objeto respecto a la cámara.

Una vez que se haya establecido esta relación entre cámara y garra, será constante, puesto que se establece un acoplamiento rígido mecánico entre ambos elementos. Dada esta matriz, es posible obtener la posición y orientación del efecto final respecto al sistema de coordenadas del objeto:

$${}^o\mathbf{T}_g = {}^o\mathbf{T}_c \cdot {}^g\mathbf{T}_c^{-1}$$

FORMULA 18.1

Así, aplicando sucesivos cambios de base, se tendrá disponible la relación entre la base del manipulador y el objeto de referencia, de manera que si se considera $\{\mathcal{B}\}$ como el sistema de referencia de la base, todo podrá ser interpretado respecto a la misma de la forma:

$${}^{\mathcal{B}}\mathbf{T}_{\mathcal{O}} = {}^{\mathcal{B}}\mathbf{T}_g \cdot {}^g\mathbf{T}_c \cdot {}^c\mathbf{T}_{\mathcal{O}}$$

FORMULA 19

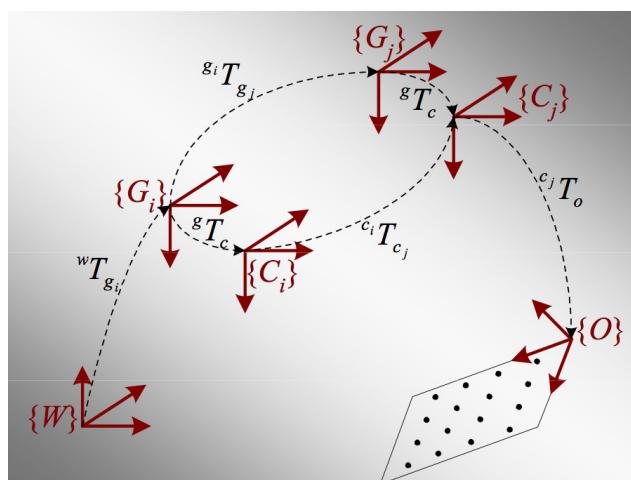


FIGURA 7. Esquema gráfico de calibración cámara-garra mediante Tsai Lenz

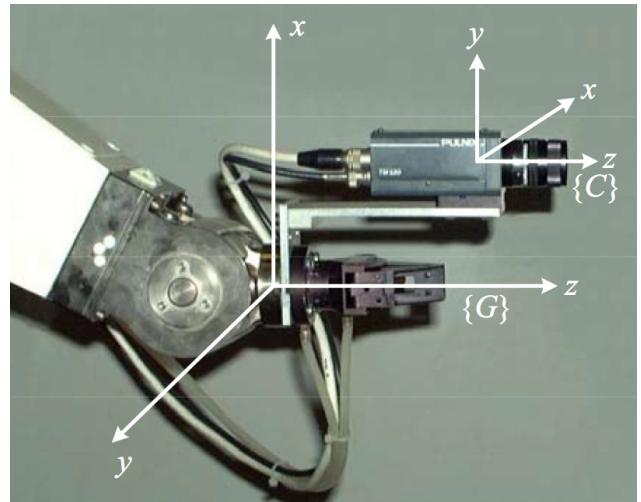


FIGURA 7.1

para que, en cada momento, haciendo uso del algoritmo de localización y seguimiento propuesto en la siguiente sección, se puedan realizar las acciones que se consideren oportunas en un entorno industrial.

4 MECANISMOS DE EXTRACCIÓN DE INFORMACIÓN VISUAL

4.1 Introducción

El algoritmo de localización y seguimiento presentado en esta sección permite obtener la información visual necesaria para cerrar el lazo de realimentación visual. Se obtendrán los parámetros extrínsecos del sistema, esto es, rotación y traslación del sistema que liga al objeto de interés y la cámara, para poder integrarlo en la unidad de control del manipulador, indicando así la posición y orientación deseadas respecto del sistema $\{\mathcal{B}\}$.

Esta técnica se correspondería, si se mantiene o no el tipo de realimentación articular, con la técnica de «Mirar y mover dinámico» (figura 8), en la que se establecen dos frecuencias de operación: lazo interno y más rápido, lazo externo más lento. Si se establece la clasificación en base al espacio de control, el lazo de control externo se corresponde con la técnica denominada control visual basado en posición (PBVS - Position Based Visual Servo, figura 9), en la que es necesario conocer tanto la geometría de la cámara como la del objeto, y en la que el lazo externo realimenta valores en el espacio cartesiano, al tiempo que el lazo interno (unidad de control del robot) trabaja en el espacio articular.

La implementación aportada en esta sección se ha llevado a cabo con una librería de procesamiento digital de imágenes basadas en estándares abiertos, denominada OpenCV [3]. Aunque existen multitud de alternativas libres, como *OpenTrackingLibrary*[6], se propone OpenCV debido al elevado número de métodos y funciones de los que ya dispone, al tiempo de diversos manuales y documentación *on-line*. Sin embargo, existen alternativas bajo licencia muy extendidas en entornos industriales, como la alternativa comercial de MVTec Halcon [7]. Es un software que incluye multitud de algoritmos, herramientas de calibración, y entornos integrados de desarrollo, que permite desplegar soluciones de visión artificial en entornos industriales con elevados índices de calidad. Sin embargo, la licencia más básica tiene costes prohibitivos para entornos de investigación universitarios.

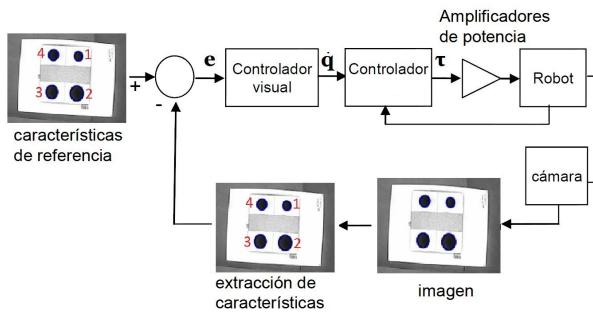


FIGURA 8. Esquema «Mirar y mover dinámico»

Para exponer la presente sección, en primer lugar se muestra una descripción del modelado del objeto, el cual se corresponde con el elemento a seguir en el entorno mediante algoritmos de localización y seguimiento que son ejecutados en tiempo real. Posteriormente, y una vez localizado el mismo en la escena, se extraen los parámetros extrínsecos para, en última instancia, ser reproyectados estos puntos en el plano de la imagen para verificar que la estimación es correcta.

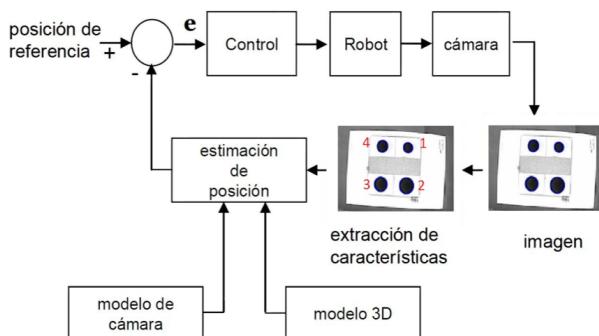


FIGURA 9. Esquema PBVS

4.2 Objeto de referencia tridimensional

La razón principal por la cual se propone el *tablero de ajedrez* como *objeto de interés* es porque su geometría (puntos por filas y por columnas) es sencilla de implementar. Pero dado que si se pretende que la presente propuesta sea factible en el mundo de la industria, para cada aplicación en la que se requiera control basado en posición, será necesario contar con un modelo muy preciso del objeto. Dado el modelo, una vez que se hayan calculado la rotación y traslación del objeto respecto de la cámara (o viceversa) en cada escena, estos parámetros serán realimentados al control para cerrar el lazo. Así pues, se supone que se dispone de los siguientes elementos en el entorno:

- Cámara: calibrada, o al menos se dispone de los parámetros intrínsecos obtenidos fuera de línea. Correctamente conectada al computador o unidad de control, y transmitiendo en modo continuo.
- *Objeto de interés*: Se dispone de la plantilla del *tablero de ajedrez*, conociendo perfectamente su geometría, midiendo el alto y ancho de sus cuadraditos con un calibre, por ejemplo. Para esta propuesta se requiere la asunción del que el objeto de interés es plano. En otros casos, tanto la implementación de los algoritmos de localización como la representación del modelo serían más complejos.

En Algoritmo 1 se recoge la lógica más básica que resume los pasos a seguir para obtener los parámetros extrínsecos, si el objeto está dentro del espacio de visión de la cámara.

Algoritmo 1 Algoritmo general para la extracción de información visual para el esquema de control PBVS. *Pui2D*: Puntos sin distorsión *imagen*; *PO3D*: Puntos objeto 3D. *Matriz K*: Matriz de calibración de la cámara. *[K1..Kn]*: Parámetros de distorsión de la lente.

```

Inicio ControlPBVS
    ReservaEstructurasMemoria(...)
    InicializacionCamara(camara)
    [K, [K1..Kn]] := CalibracionInterna(camara)
    [PO3D] := DefinicionGeometriaObjeto(objeto)
    mientras (cierto):
        imagen := CapturaImagen(camara)
        [Pui2D] := LocalizarObjeto(imagen)

        [Rot,trasl]:= CalibracionExterna([Pui2D], [PO3D])
        imgColor := ProyectaPuntos([PO3D],
                                    Rot,trasl,K, [K1..Kn])

    fin mientras
    LiberaRecursosMemoria(..)
    LiberaCamara(camara)
Fin Algoritmo

```

4.3 Representación, localización y seguimiento

Es relativamente sencillo localizar los puntos característicos o corners de un tablero de ajedrez después de consultar la documentación de OpenCV [3]. La función `cvFindChessboardCorners()` se utiliza pues para la obtención de las coordenadas de los puntos característicos en el plano de la imagen. Además, dichos corners de la parrilla interior de puntos del tablero de ajedrez presentan unas propiedades muy buenas para la localización y seguimiento, no tanto como pudiera tener otro *objeto de interés*. Existen otras alternativas para la localización de dichos puntos: detector de corners de Harris; intersección entre rectas interiores al tablero usando algoritmos de detección de bordes, como Canny, etc.

En cada toma, para la localización de los puntos interiores al tablero, se usa la función de OpenCV `cvFindChessboardCorners()`, cuyo prototipo es el siguiente:

```
int cvFindChessboardCorners (
    const void* image,
    CvSize pattern_size,
    CvPoint2D32f* corners,
    int* corner_count = NULL,
    flags = CV_CALIB_CB_ADAPTIVE_THRESH );
```

donde:

image : Imagen que contiene al *objeto de interés*.

pattern_size : Estructura para la definición de *tamaño* en OpenCV. Se indican el número de filas y columnas, especificados por el número de *corners* internos a lo ancho y número de *corners* internos a lo alto del tablero.

corners : Estructura tipo *array* de OpenCV en la que se almacenan las coordenadas (del plano de la imagen) correspondientes a los puntos extraídos del tablero.

corner_count : Puntero a entero, en el cual se indica el número de *corners* del tablero encontrados.

Máscaras de comportamiento :

- *CV_CALIB_CB_ADAPTIVE_THRESH*: Se usará un umbral adaptativo para el contraste en la imagen para la localización de los *corners*.
- *CV_CALIB_CB_FILTER_QUADS*: Conjunto de restricciones son aplicadas para rechazar posibles falsos *corners*.

Una limitación que presenta esta función es que si el tablero completo no está contenido dentro de la escena, y no se detecta, por ejemplo, una fila o columna, no devuelve el conjunto de puntos de la parte del tablero visible, dado que no cumple con los parámetros de entrada indicados. Esto da pie a otros métodos para la localización de objetos (basados en descriptor, como SIFT o SURF), pero no son del ámbito del presente trabajo.

El siguiente paso consiste en aplicar un proceso de refinamiento sobre el conjunto de coordenadas para precisar aún más la localización de los puntos característicos o corners obtenidas en el punto anterior. Esta tarea se realiza con la función de OpenCV `cvFindCornerSubPix()`, cuyo prototipo es:

```
void cvFindCornerSubPix(
    const CvArr* image,
    CvPoint2D32f* corners,
    int count,
    CvSize win,
    CvSize zero_zone,
    CvTermCriteria criteria );
```

donde:

image, *corners* y *count* : Igual que en el caso anterior, salvo que se supone que en *image* están presentes los *corners* pasados como argumento de entrada.

win : Estructura en OpenCV para especificar el tamaño de la ventana de búsqueda del punto característico, en píxeles. En esta propuesta se considera una ventana de 5x5 de radio desde la posición del punto, con lo que sumando el tamaño del píxel en horizontal y vertical queda una ventana de *CvSize(11,11)*.



zero_zone : No relevante para el caso actual.

criteria : Se establecen el número de iteraciones máximo en el proceso de búsqueda. En este caso: `cvTermCriteria(CV_TERMCRIT_EPS|CV_TERMCRIT_ITER, 30, 0.1)`, indicando que el algoritmo iterará un número máximo de iteraciones que se establece en 30 ó cuando se haya alcanzado una precisión del 10%.

Almacenadas las coordenadas de los puntos en estructuras de memoria intermedias, y obtenidas las coordenadas precisas de la localización de los puntos del tablero, queda realizar la representación de la geometría del objeto, definiendo los *puntos del objeto*, y calcular los parámetros extrínsecos del sistema, asumiendo que tanto la cámara como el objeto pueden desplazarse en cualquier momento.

El objeto se puede definir *virtualmente* como una malla de puntos, ordenados por filas y columnas, cuya distancia de separación sea dada en milímetros (Algoritmo 2). La tercera coordenada (z) se establece a 0, puesto que se supone que el objeto descansa sobre el plano que contiene al sistema de referencia propio.

Un último detalle es indicar qué se considera eje X y eje Y respecto del sistema de coordenadas del objeto. En la figura 10 se observa la asunción del eje horizontal del objeto como Y, el vertical etiquetado como X y apuntando hacia la cámara, el eje Z.

Algoritmo 2 Representación *virtual* del objeto. Nota: *PObj*: PuntosObjeto; *tCmm*: Tamaño del cuadrado en mm.

```
// Bucle externo a lo largo del eje X
desde i = 0 hasta i < numCornersEjeX
{
    paso: i++
    // Bucle interno a lo largo del eje Y
    numCorner = i*numCornersEjeY;
    desde j = 0 hasta j < numCornersEjeY
    {
        paso: j++, numCorner++
        Obj.PObj[numCorner, 0] = i*tCmm;
        Obj.PObj[numCorner, 1] = j*tCmm;
        Obj.PObj[numCorner, 2] = 0.0f;
    }
}
```

4.4 Cálculo de los parámetros extrínsecos

En OpenCV existe una función que permite calcular los parámetros extrínsecos, denominada *cvFindEx-*

trinsicCameraParam2(), la cual se detalla a continuación:

```
void cvFindExtrinsicCameraParams2 (
    const CvMat* object_points,
    const CvMat* image_points,
    const CvMat* intrinsic_matrix,
    const CvMat* distortion_coeffs,
    CvMat* rotation_vector,
    CvMat* translation_vector );
```

La descripción de los parámetros es la siguiente:

object_points : Representación *virtual* de la geometría del objeto. Presentada en el Algoritmo 2. Coordenadas tridimensionales respecto al sistema del objeto.

image_points : Coordenadas bidimensionales respecto al plano de la imagen de los puntos extraídos con la función *cvFindChessboardCorners()*.

intrinsic_matrix : Función de parámetros intrínsecos de la cámara K.

distortion_coeffs : Vector de coeficientes de distorsión *radial* y *tangencial*. Expresado de la forma: \mathbf{k}_1 , \mathbf{k}_2 , \mathbf{p}_1 , \mathbf{p}_2 y \mathbf{k}_3 (donde \mathbf{k}_i indican coeficientes de distorsión radial y \mathbf{p}_i coeficientes de distorsión *tangencial*)⁶.

rotation_vector : Vector de rotación, en el que se devuelve, por cada eje, el vector unitario asociado y el ángulo de giro sobre el mismo. Para obtener la matriz de orden 3 necesaria para la aplicación, se puede usar la función de OpenCV *cvRodrigues2()*.

translation_vector : Vector de traslación del sistema. Los valores devueltos están expresados en mm.

⁶De forma muy resumida, la distorsión radial está asociada a la curvatura de la lente, mientras que la distorsión tangencial queda asociada a la disposición existente entre el sensor (CMOS, por ejemplo) de la cámara y la óptica.

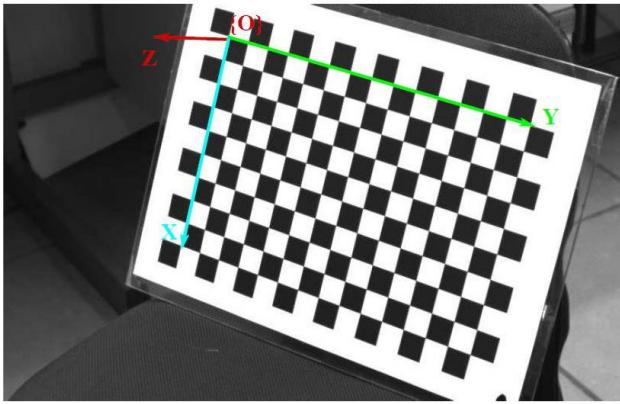


FIGURA 10. Representación de los ejes del sistema de coordenadas del objeto.

4.5 Proyección tridimensional

En este punto se puede verificar:

- Si la calibración interna de la cámara se ha realizado correctamente.
- Si se ha definido correctamente el objeto tridimensional.
- Si se ha realizado correctamente la extracción de los parámetros extrínsecos del sistema.

Si alguna de las tres etapas anteriores se ha superado con algún tipo de error, la reproyección de la estimación de los *puntos del objeto* no será adecuada, y por lo tanto, la reconstrucción 3D del mismo contendrá errores. Esto es, dada una localización en el espacio tridimensional respecto del sistema de coordenadas de la cámara, es posible reconstruir de forma única donde debería aparecer en el plano de la imagen en coordenadas expresadas en píxeles, el punto externo tridimensional. Dicha transformación se realiza usando la función de OpenCV denominada *cvProjectPoints2()*, cuyo prototipo se expone a continuación:

```
void cvProjectPoints2(
    const CvMat* object_points,
    const CvMat* rotation_vector,
    const CvMat* translation_vector,
    const CvMat* intrinsic_matrix,
    const CvMat* distortion_coeffs,
    CvMat* image_points,
    ...);
```

donde:

object_points : Representación *virtual* (Algoritmo 2) de la geometría del objeto. Coordenadas tridimensionales respecto al sistema del objeto.

rotation_vector : Vector de rotación, representado como rotación respecto a cada eje.

translation_vector : Vector de traslación del sistema. Los valores devueltos están expresados en mm.

intrinsic_matrix : Función de parámetros intrínsecos de la cámara, \mathbf{K} . Junto con los coeficientes de distorsión, es usada para corregir geométricamente la imagen.

distortion_coeffs : Vector de coeficientes de distorsión.

image_points : Parámetro de salida; contendrá las coordenadas tridimensionales de la localización del objeto, respecto del sistema de coordenadas de la imagen. Posteriormente será usado para dibujar los puntos reproyectados.

Tras la ejecución de la anterior función, es posible dibujar la reproyección de los puntos calculados sobre el tablero, con una precisión que depende directamente tanto de la óptica como de las características de la cámara.

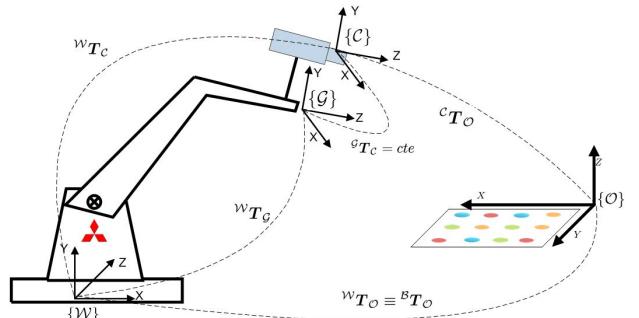


FIGURA 11. Disposición brazo manipulador-cámara-objeto de interés. Transformación entre sistemas de referencia.

El último paso consiste en dibujar el eje Z sobre el tablero (profundidad), y para conseguir la reconstrucción parcial completa es necesario dividir esa pequeña cantidad por la reproyección del eje Z, haciendo

uso de la expresión (4). Los resultados obtenidos se muestran en la figura 12, donde una “reproyección tridimensional” del *objeto de interés* a partir de los parámetros extrínsecos del sistema es llevada a cabo.

Como conclusión, tras realizar el conjunto de pasos anteriores, ya se dispone de los parámetros extrínsecos, con una resolución del orden de mm , para poder ser integrados en la unidad de control del manipulador e indicar referencias asociadas al campo visual, para tareas propias del entorno industrial. Aplicando el producto de matrices recogido en la expresión (19), es posible indicar movimiento a coordenadas del entorno del objeto, referenciadas desde la base del manipulador, $\{W\}$, siguiendo el esquema de la figura 11.

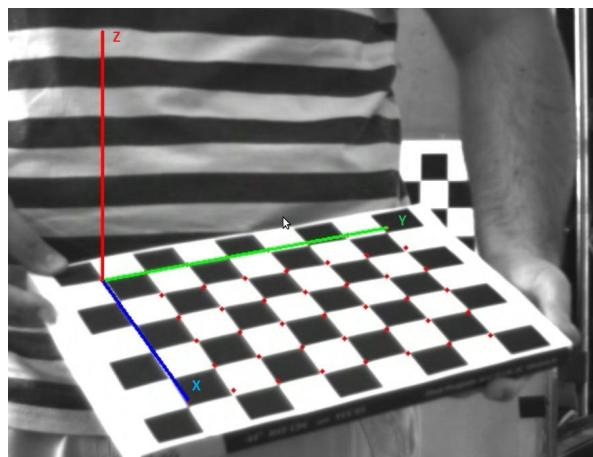


FIGURA 12. Reconstrucción 3D del objeto de interés.

4.6 Otras alternativas

Existen otras técnicas, no expuestas en este trabajo, para la obtención de la relación entre la cámara asociada al efector final y algún objeto de interés, y para la localización del mismo (Surf, Sift, flujo óptico, etc). De hecho serían muy beneficiosas para entornos industriales, dado que son independientes del modelo del objeto de referencia (en este tipo de técnicas no se considera la estructura tridimensional del objeto, sino que se asume que el mismo es plano).

Ya no se calculan los parámetros extrínsecos del sistema, tal cual; en este tipo de alternativas tan solo existe el plano de la imagen, y el conjunto de puntos extraídos del mismo es lo que se intenta seguir en una secuencia de imágenes. Se plantea una relación de transformación proyectiva, en la que se toma la primera imagen del objeto (imagen de referencia) y

se calcula en cada toma sucesiva la matriz de homografía con la nueva imagen del objeto capturada, de forma que en cada instante de tiempo tenemos una matriz H , cuyos coeficientes transformarían la posición actual del objeto a la posición de referencia.

Una vez calculada dicha matriz entre cada par de imágenes (referencia y actual), se pueden plantear diversas técnicas para la extracción de la rotación y traslación, entre las cuales destacan las de descomposición analítica y numérica. Sin embargo, aunque la rotación no se vea afectada, el vector de traslación no viene dado en unidades métricas como en la primera propuesta, sino que viene escalado y determinado por un factor α desconocido. Por ello, propuestas que utilizan este tipo de técnicas para el control visual basado en posición incluyen también medidas de sensores de distancia, que aportan la componente de profundidad necesaria para poder extrapolar los parámetros extrínsecos reales.

5 CONCLUSIÓN

El presente trabajo ha presentado una propuesta para un caso práctico de implementación de un esquema de realimentación visual basado en posición, alternativa la cual requiere de múltiples modelos: modelo de parámetros intrínsecos de la cámara, especificación tridimensional del objeto de interés, etc. No se ha presentado ninguna referencia a controladores articulares bajo la asunción de que es la unidad de control del brazo manipulador quien, indicando referencias externas en espacio cartesiano, se encarga del control cinemático y dinámico del manipulador. Sin embargo, sí ha sido necesario el presentar las ecuaciones del modelo cinemático directo para poder calcular la matriz de transformación homogénea que liga base y efecto final, para poder relacionarlo del mismo modo con el *objeto de interés* capturado por el sensor óptico.

La técnica de extracción de información visual no es característica de este tipo de aplicaciones. De hecho, es posible integrarla en equipos robóticos terrestres o aéreos, complementando así la carga sensorial de los mismos, pudiendo ser alternativas en situaciones en las que, por ejemplo, para funciones de navegación no

se disponga de cobertura GPS, sensor muy utilizado en la navegación autónoma. Simplemente con tomar diversas asunciones sobre el o los objetos a tomar como referencias, el control visual para navegación es factible.

En la literatura existen diversos métodos para la localización y seguimiento de objetos: algunos de ellos presentan mejores propiedades ante occlusiones parciales o condiciones lumínicas pobres (es el caso de SURF o SIFT). El motivo por el cual no se han presentado en este trabajo es porque en entornos industriales todo en el área o celda de trabajo se prepara de la mejor forma posible para que las condiciones de trabajo sean las mejores; incluyendo (si existen sensores ópticos) el mejor acondicionamiento para la extracción de información visual.

AUTOR



Jesús González Villagómez nació en Palma de Mallorca en 1984. Recibió el título de Ingeniero en Informática por la Universidad de Sevilla en el año 2010, y desde entonces ha participado en diversos proyectos de investigación en el Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad de Sevilla, en el cual realiza actualmente sus estudios para la obtención del grado de doctor. Sus intereses de investigación abarcan desde la robótica aérea hasta la visión artificial.

REFERENCIAS

[1] Especificaciones Serie Melfa Mitsubishi. Sitio web de Mitsubishi Corporation. <http://www.mitsubishi.com>

[2] J.-Y. Bouguet, "Camera Calibration Toolbox for Matlab", Junio 2008. <http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calibdoc/index.html>.

[3] G. Bradsky and A. Kaelher, "Learning OpenCV. Computer Vision with the OpenCV Library", O'Reilly, 2008.

[4] Tarek Hamel, Robert Mahony. Image based visual servo control for a class of aerial robotic systems.

[5] Hill, J., and Park, W.T. Real Time Control of a Robot with a Mobile Camera. Proceedings of the 9th ISIR , Washington DC, March, pp. 233-246, 1979.

[6] Open Tracking Library. <http://www.opentl.org/>

[7] MVtec Software GmbH Halcon. <http://www.mvtec.com/halcon/>

[8] Realimentación visual para el control de un vehículo aéreo cuatrimotor no tripulado. Proyecto Final de Carrera. Jesús G. Villagómez. Septiembre 2010.

Generación eléctrica en el Chad

Àngel Lladó Jaume
Jordi Giral Guardia
Pol Olivella Rosell
Victor Depoorter Ruelle

El proyecto “Generación eléctrica en el Chad” se desarrolla para una población del Chad, país situado en el corazón de África. Según la ONU, es el quinto país más pobre del mundo con un 80% de la población por debajo del umbral de la pobreza. Goundi, la población chadiana destinataria del proyecto, está al sur del país, entre las poblaciones de Sarh i Moundoul, cerca de la frontera con Camerún y la República Centroafricana. La organización no-gubernamental que promueve el proyecto es Misión y Desarrollo para Goundi y fue fundada en el año 2003 con el objetivo de mejorar las condiciones de vida en la región. La ONG colabora muy intensamente con el hospital aportando financiación y material sanitario. Una de las partidas económicas más importantes es la compra de combustible para generar electricidad. Estos costes se han ido incrementando con la subida de los precios del barril de petróleo y los diferentes conflictos en los países vecinos. En este contexto y desde la ONG, se decidió emprender un proyecto tecnológico para reducir al máximo la compra de combustible y se formó un equipo de voluntarios dispuestos a encontrar una solución. Esta solución debía poder suministrar energía al hospital y así asegurar su autoabastecimiento energético en el futuro.

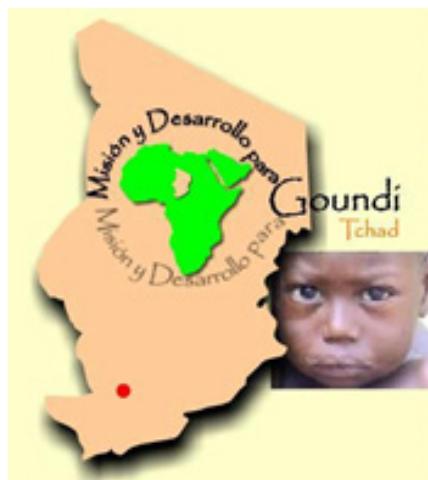


Figura 1: Logo ONG
Fuente: Misión y Desarrollo para Goundi

Por lo tanto, el proyecto tiene como principal eje vertebrador la planificación y construcción de una planta de generación multi-energética renovable, para finalmente conseguir el objetivo real del proyecto: involucrar a la población local de Goundi en su propia independencia y crecimiento socio-económico.

A día de hoy y aún en fase embrionaria, dicho proyecto está constituido por varias entidades locales como la Communé du Goundi o la Association des Handicapés Physiques de Goundi así como otras, no menos importantes y que aportan la parte técnica, como el centro de investigación CITCEA-UPC y la ONG Misión y Desarrollo para Goundi, ubicadas en Catalunya. El trabajo desarrollado se ha basado en voluntarios que coordinan sus respectivos trabajos con el proyecto., por lo que se plantea la incorporación de nuevas personas dispuestas a colaborar, ya sea aquí en Barcelona como en Goundi.

La financiación de este proyecto se lleva a cabo, por el momento, mediante donaciones y patrocinios privados y subvenciones públicas puesto que se pretende llegar a la autofinanciación e independencia energética en el transcurso del 2013-2014.

En una primera fase, el proyecto se centrará en demostrar la viabilidad del sistema escogido con una carga menos crítica que un hospital, dónde un corte del suministro eléctrico puede ocasionar daños irreparables. La carga disponible es un pozo de agua que abastece a la población durante los 9 meses de sequía, la cual se extrae con una bomba de agua eléctrica, que actualmente funciona con un generador diésel. Posteriormente, una vez demostrada la viabilidad, se procederá a aumentar el sistema de generación para poder abastecer al hospital y a otras posibles cargas.

TECNOLOGIA UTILIZADA

Después de valorar las diferentes alternativas tecnológicas existentes, se descartan la eólica y la minihidráulica por insuficiencia de estos recursos en la zona destinada al proyecto, y la solar por el hecho de que no supone una implicación directa de la sociedad, siendo esta una premisa pilar del proyecto. Por lo tanto, después de valorar las posibilidades, las características medioambientales, productivas y económicas de la zona, la generación eléctrica se realizará mediante la gasificación de biomasa. No obstante, en ningún caso se descarta la posibilidad de futuras hibridaciones de estas u otras tecnologías en fases posteriores.

La biomasa forestal es un recurso abundante en Catalunya y gran parte del mundo, pero no es así en Goundi, donde cada árbol está protegido por ley y donde la naturaleza impone un tren climático de 9 meses de sequía extrema seguidos de 3 meses de lluvias torrenciales. En este entorno, la biomasa más apropiada es el subproducto agrícola obtenido en el cultivo de variedades locales de maíz. Se entiende como subproducto todo aquello que no sea comestible, como los zuros de las mazorcas (núcleos) y las cañas, que actualmente se queman en los campos después de cada cosecha. A diferencia de la biomasa forestal, la biomasa residual agrícola se regenera con cada época de lluvias, teniendo así asegurado el suministro año tras año.

La tecnología de la gasificación permite una revitalización energética de la biomasa de forma limpia, controlada y segura, que permite trabajar cómodamente con pequeñas potencias sin comprometer el precio ni la fiabilidad del proyecto. Actualmente, existe una amplia experiencia en instalaciones de gasificación en medios rurales para la generación eléctrica.

Una alternativa razonable podría ser la generación eléctrica mediante calderas de vapor, pero para potencias inferiores a 500 kW es poco común, si bien son muy utilizadas para la generación de calor industrial o para calefacción.

Con la gasificación se consigue una mayor eficiencia en el proceso, así como la posibilidad de obtener energía eléctrica a la vez que térmica. Esta última es

especialmente interesante ya que permite la aplicación de esta tecnología en proyectos de cogeneración o incluso trigeneración (generar calor, frío y electricidad del mismo proceso).

El producto de la gasificación es el gas de síntesis, que tiene un poder calorífico bajo, aunque no despreciable (4 - 6 MJ/m³), y no genera mayor residuo que materiales inertes como son cenizas y determinados gases no contaminantes, que se queman en una antorcha al final del proceso.

SOLUCIÓN COMERCIAL: EL GASIFICADOR GEK DE 20 KW

La opción comercial que mejor se adapta a las necesidades de esta primera fase del proyecto la ofrece All Power Labs con su gasificador GEK de 20 kW. Este kit de gasificación presenta una solución muy completa y compacta, ocupando solamente el tamaño de un palé, a un precio ajustado. Sus principales partes son: un sistema de alimentación de biomasa, un gasificador, un ciclón, un sistema de filtrado y enfriado del gas, un motor de combustión interna y un generador acoplado al mismo. El equipo cuenta con un sistema de control que lleva a cabo el encendido y el apagado, así como la admisión de biomasa de la tolva al gasificador, con un alto grado de automatización.

El gasificador es de tiro invertido o downdraft. Este tipo de gasificadores permiten obtener un gas con baja concentración de alquitranes y partículas, lo que facilita su filtraje antes de ser introducido en un MCIA (Motor de combustión interna alternativo).

Aún así, una vez generado el gas de síntesis hay que someterlo a un proceso de limpieza para acabar de eliminar las partículas indeseadas que podrían perjudicar el funcionamiento del MCIA y reducir su vida útil. Este proceso de limpieza se compone de un ciclón para la eliminación de partículas, que tiene la ventaja de poder trabajar a la alta temperatura de salida de los gases. Tras haber pasado por el ciclón, el gas es dirigido a un intercambiador de calor, que permite aprovechar su calor para precalentar de la biomasa entrante. Por último, se pasan los gases por un filtro de aceite que acaba de eliminar prácticamente todas sus



impurezas. Para el buen funcionamiento del proceso es muy importante llevar a cabo un mantenimiento correcto de los elementos de filtraje, teniéndose que vaciar el depósito de cenizas del ciclón y cambiar el aceite del filtro periódicamente.

Al final del proceso, el gas se introduce en el motor modelo GM Vortec 3.0L 4cyl de gasolina adaptado al funcionamiento con gas. A su vez, el motor está acoplado a un generador eléctrico Meccalte con posibilidad de trabajar a 120V/208/240V AC, 60/50Hz, en monofásico o trifásico. Por un lado, el uso de un motor de combustión interna ofrece un coste de la energía inferior que con el uso de una turbina de gas. Por otro lado, la tecnología de los motores de combustión presenta una mayor madurez que la tecnología de las turbinas de gas para este rango de potencias.

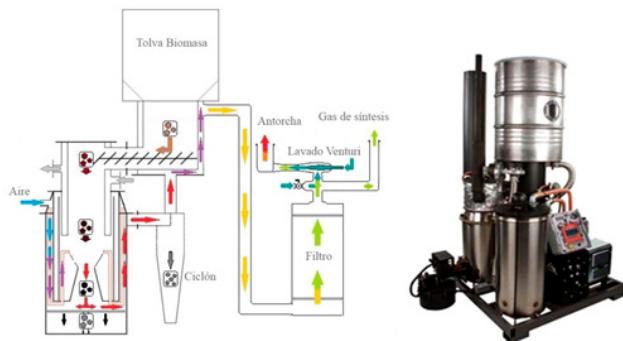


Figura 2: Esquema gasificador GEK de 20 kW de All Power Labs

Fuente: All Power Labs

Para possibilitar la gestión de todo el proceso es necesaria una unidad de control. Este dispositivo se basa en una placa “open source” desarrollada inicialmente para el control de procesos térmicos industriales. Cuenta con gran cantidad de sensores de presión y temperatura, entradas analógicas, tacómetros (rpm), salidas PWM para el control de velocidad en motores y salidas capaces de suministrar hasta 5 A en C.C. El dispositivo es capaz de comunicarse vía USB, serial, SD y CANbus, así como almacenar datos y visualizarlos in situ en una pantalla LCD incorporada en la placa. Esta unidad de control, basada en un procesador Atmel ATmega 1280 compatible con software Arduino, permite modificar fácilmente el proceso con el fin de mejorar su eficiencia. Por otro lado, existe mucha información proveniente de otros usuarios de Arduino que han documentado su experiencia en internet. Por todo lo anterior, la unidad de control de GEK representa una herramienta muy completa y

robusta para aplicaciones industriales y de investigación que requieran controlar procesos complejos a través de sensores y actuadores. Además, su precio, mucho más bajo que el de otros dispositivos con características similares, hace que sea muy conveniente para sistemas de pequeña escala.

Dependiendo de las características del sistema el precio de la generación eléctrica puede oscilar bastante. Aun así, se estima que el coste de inversión siempre se mantendrá en el rango de 1 - 2 €/W instalado y el coste de producción de la energía en el de 0,1-0,15 €/kWh.

Para gasificar la biomasa debe pasar previamente por una etapa de acondicionamiento, en lo que a tamaño y humedad se refiere. Para garantizar el funcionamiento correcto del gasificador GEK, su empresa fabricante All Power Labs exige que la biomasa utilizada cumpla con los requisitos siguientes:

Características	GEK 20 kW
Humedad	<15% - encendido <30% - operación normal
Dimensiones	Astillas - 10mm – 50mm Pellets Zuros maíz - En mitades
Proporción de volátiles	<25%

Fuente: All Power Labs

CONSIDERACIONES FINALES

Este proyecto representa una oportunidad para ayudar al desarrollo socioeconómico de la población de Goundi, a partir de la colaboración de Misión y Desarrollo para Goundi y el CITCEA-UPC con entidades locales como la Commune du Goundi o la Association des Handicapés Physiques de Goundi.

La voluntad es fortalecer su desarrollo e independencia respecto a agentes exteriores como pueden ser los comerciantes de gasóleo o incluso la propia ONG, como parte del mundo occidental. Este objetivo se llevará a cabo mediante un ambicioso proyecto en el que se formará y capacitará a la población para acercarles a la autosuficiencia energética.

Cerramos así un círculo de desarrollo en el que la población local trabaja en el cultivo de maíz para posteriormente obtener energía y grano.

AUTORES



Àngel Lladó Jaume es estudiante del Grado de Ingeniería de la Energía y está desarrollando su proyecto de final de grado sobre la producción de energía eléctrica mediante la gasificación de biomasa. Desde mayo del 2012 es becario en el Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments (CITCEA-UPC). Sus intereses son la innovación tecnológica, las energías renovables y el desarrollo social y energético de países emergentes.



Jordi Giral Guardia es licenciado químico por la Universidad de Barcelona (UB). Cursando el máster interuniversitario de Ingeniería en Energía de la UPC-UB, especialidad en energías renovables, está desarrollando su proyecto de final de máster sobre la producción eléctrica mediante gasificación de biomasa. Desde setiembre participa en el proyecto y la ONG a través del Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments (CITCEA-UPC). Sus intereses son las energías renovables, el desarrollo sostenible y la igualdad social.



Pol Olivella Rosell es ingeniero de proyectos del Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments (CITCEA-UPC) del Departamento de Ingeniería Eléctrica (DEE-UPC). Ingeniero industrial por la Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB-UPC). Sus trabajos se centran en la integración de vehículos eléctricos en las redes eléctricas, el mercado de la energía eléctrica y las tecnologías de las Smart Grids. Des de noviembre de 2012 forma parte de la sección local del PES-IEEE. También colabora con la ONG. Sus intereses son las energías renovables, los vehículos eléctricos, las redes eléctricas inteligentes y la cooperación para el desarrollo.



Victor Depoorter Ruelle es estudiante del Grado de Ingeniería de la Energía y está vinculado a este proyecto del Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments (CITCEA-UPC). Anteriormente ya ha colaborado en otros proyectos de cooperación para abastecer de energía a los campos de refugiados de ACNUR UNHCR en Kenia. Su objetivo es seguir su carrera profesional en el sector de la energía, con especial atención en el desarrollo de nuevas tecnologías y de la eficiencia energética.

Superredes, las redes eléctricas del futuro

Mònica Aragüés Peñalba

Eduardo Prieto Araujo

Agustí Egea Alvarez

Oriol Gomis Bellmunt

LA EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

Los sistemas de generación, transporte y distribución de la energía eléctrica han evolucionado a lo largo de la historia [1]. Las primeras redes de distribución europeas y estadounidenses funcionaban en corriente continua y a baja tensión, presentando considerables pérdidas en los cables. La aparición y difusión del transformador, junto con las mejoras en los generadores de corriente alterna, propiciaron el cambio del transporte en corriente continua a corriente alterna. Modificando los niveles de tensión, gracias al transformador, se lograba transportar la energía eléctrica a largas distancias disminuyendo las pérdidas. Por otro lado, mediante el generador de corriente alterna se producía electricidad a bajo coste usando turbinas hidroeléctricas. Durante el siglo XX el sistema eléctrico de transporte basó su funcionamiento en la corriente alterna, pero se siguieron investigando los sistemas de transmisión en corriente continua, hasta que hoy en día ambas tecnologías compiten por la hegemonía del sistema de transporte eléctrico.

El uso de una tecnología u otra depende de la viabilidad técnica, económica y ambiental de cada una [1]. En caso de que se requiera conectar dos sistemas que funcionan a diferente frecuencia (asíncronos), es necesario usar la tecnología HVDC (High Voltage Direct Current). Por otro lado, la potencia que se transmite mediante un sistema HVDC prácticamente no varía con la distancia, mientras que sí lo hace en HVAC (High Voltage Alternating Current), como consecuencia de los efectos de la potencia reactiva inherente que circula por los cables. Además, en las conexiones HVAC pueden aparecer inestabilidades debido al desfase que produce el efecto inductivo de los cables en los extremos de la transmisión. En HVAC, son necesarias compensaciones de potencia reactiva para mantener la tensión deseada en ambos extremos

y los requisitos de estas compensaciones aumentan con la distancia. En cambio, la tecnología HVDC las líneas no necesitan compensación y los convertidores permiten dar soporte a la red a través del control de potencia reactiva.

A pesar de las ventajas que presenta la tecnología HVDC frente a la HVAC, siguen existiendo factores que justifican la opción HVAC en multitud de aplicaciones. Éstos son, fundamentalmente, la complejidad de las protecciones en HVDC, la dificultad de la transformación de tensiones de corriente continua y el elevado coste de las estaciones de transformación

En términos económicos, resulta muy interesante comparar instalaciones equivalentes en transmisión de potencia, de tecnología HVDC y HVAC, analizando los costes asociados a cada una de ellas en función de la distancia de transmisión (ver Figura 1).

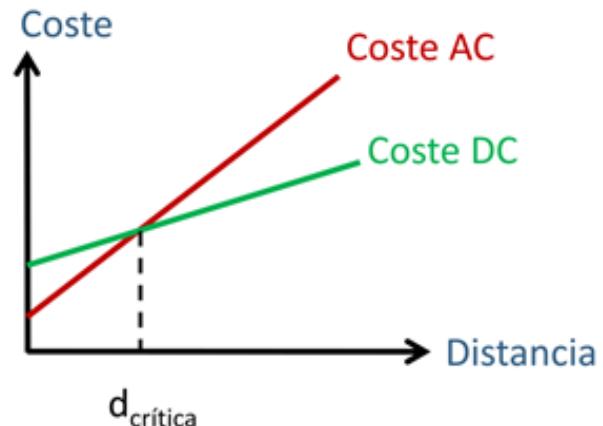


Figura 1. Evolución de los costes de instalaciones HVDC y HVAC en función de la distancia de la transmisión

En sistemas HVDC, el centro de conversión (elemento imprescindible) supone un mayor coste fijo, que se ve corregido por un menor coste de las líneas HVDC (menores pérdidas). Existe un punto de equilibrio (distancia crítica) donde el coste de las instalaciones DC y AC se iguala. Para distancias inferiores

a la crítica (dcrítica en la Figura 1) los costes de la conversión y sus pérdidas encarecen la opción HVDC frente a la HVAC. Pero, para distancias superiores a la crítica, la instalación HVDC resulta más económica. Cuanto mayor es la distancia de la transmisión más económica es la instalación HVDC frente a la HVAC. En transmisiones subterráneas y submarinas el valor de la distancia crítica se sitúa entre 50 y 100 km, mientras que en transmisiones con líneas aéreas, la distancia crítica se aproxima a los 600-800 km. Este análisis demuestra que la transmisión de energía en corriente continua no es solo viable tecnológicamente, sino que en económicamente resulta más rentable que la transmisión en alterna, en multitud de aplicaciones.

TECNOLOGÍAS HVDC

Las instalaciones HVDC se pueden clasificar en LCC y VSC en función de la tecnología de convertidores que incorporan: LCC (Line Commutated Converter o convertidores que conmutan con la red eléctrica) se refiere a los convertidores basados en tiristores y VSC (Voltage Source Converter o Convertidores en Fuente de Tensión) se vincula a los convertidores basados en IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistors o Transistores Bipolares de Puerta Aislada).

La tecnología LCC fue la primera tecnología HVDC desarrollada. Permite trabajar a tensiones de 800 kV y potencias que superan 1 GW. La tecnología VSC, que se empezó a comercializar hace unos 20 años, puede trabajar a tensiones nominales de 350 kV y potencias máximas de 1 GW. Esta última permite un control independiente de potencia activa y reactiva, presenta bajo contenido armónico y la posibilidad de reiniciar el sistema eléctrico desde cero después de un apagón sin necesidad de unidades generadoras tradicionales, aumentando enormemente las posibilidades de funcionamiento y operación de las conexiones HVDC [2]. A nivel mundial el mercado de la tecnología HVDC está dominado por tres grandes fabricantes: Siemens, ABB y Alstom Grid.

SUPERREDES

Gracias a distintos avances tecnológicos en el campo de la electrónica de potencia y a las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación), aparece un nuevo concepto para la transmisión de grandes potencias: las Superredes [3]. Las Superredes surgen de extender las conexiones HVDC punto a punto hacia redes con múltiples nodos, flexibilizando el funcionamiento del sistema eléctrico, presentando una gran capacidad de control y operatividad.

La estructura eléctrica de la superred se basa en lo que se conoce como un sistema multiterminal en corriente continua (M-HVDC). Su control y protección aún se encuentra en fase de estudio y desarrollo. La Figura 2 muestra distintas propuestas de conexión de los diferentes parques eólicos y convertidores de red para configurar la futura Superred [4]. Actualmente, tanto su control [5-6], como su protección [7] y integración a la red convencional [2] son tres temas objeto de estudio para investigadores y empresas del sector eléctrico.



Figura 2. Propuesta de cómo podría ser la futura superred Europea según Friends of the SuperGrid. Fuente: Friends of the SuperGrid [8].

La tecnología de convertidor que se está perfilando como candidata para la Superred es el convertidor VSC modular multinivel MMC (Modular Multilevel Converter) basada en transistores IGBT. Se basa en fuentes de tensión conectadas en serie, a través de un pequeño convertidor, que se conectan y desconectan de forma escalonada para formar una onda sinusoidal. Existen dos variantes de los esquemas básicos de



convertidores MMC en función de la tipología de los pequeños convertidores que lo integran, una basada en la unión de convertidores de medio puente, y la otra basada en un puente completo. La diferencia entre ellos reside en la posibilidad que presenta el puente completo de bloquear cortocircuitos. A nivel de características de operación, los convertidores MMC presentan una mayor capacidad de control y una mínima distorsión armónica, en cambio muestra mayores pérdidas en comparación con las clásicas tecnologías de convertidores de dos o tres niveles. La instalación de este tipo de convertidores ya se encuentra en fase comercial, un ejemplo de ello es el enlace subterráneo HVDC basado en tecnología VSC que se está construyendo entre España y Francia.

A gran escala, a medida que se fueron planteando y desarrollando proyectos de esta tecnología en Europa, la posibilidad de unir diferentes centros de conversión, mediante nuevos enlaces HVDC, creando una gran red eléctrica en corriente continua fue cobrando cierto sentido. Teniendo en cuenta las grandes cantidades de potencia que podría transportar, estaría compuesta por varias estaciones generadoras, varios puntos de conexión a la red de transporte y podría incorporar nodos como parques eólicos marinos o plataformas petrolíferas. Actualmente, no existe ninguna Superred, pero sí iniciativas, trabajos y organizaciones que la respaldan, como por ejemplo el proyecto European Supergrid [8], que plantea la creación de dicha red europea.

BIBLIOGRAFÍA

[1] J. Gutiérrez J.I. Frau. Transporte de energía eléctrica en corriente continua: HVDC, Automática e Instrumentación, nº 361, Abril 2005.

[2] Oriol Gomis-Bellmunt, Agustí Egea-Alvarez, Adrià Junyent-Ferré, Jun Liang, Janaka Ekanayake and Nick Jenkins, Multiterminal HVDC-VSC for offshore wind power integration, Power and Energy Society General Meeting, 2011 IEEE , pp.1-6, 24-29 July 2011

[3] Agustí Egea y Oriol Gomis. Las futuras autopistas paneuropeas de la energía eléctrica, Automática e

Instrumentación, nº 443, Septiembre 2012.

[4] Oriol Gomis-Bellmunt, Jun Liang, Janaka Ekanayake, Rosemary King and Nicholas Jenkins, Topologies of multiterminal HVDC-VSC transmission for large offshore wind farms, Electric Power Systems Research, Volume 81, Issue 2, February 2011, Pages 271-281.

[5] Mònica Aragüés-Peña, Agustí Egea-Alvarez, Oriol Gomis-Bellmunt and Andreas Sumper, Optimum voltage control for loss minimization in HVDC multi-terminal transmission systems for large offshore wind farms, Electric Power System Research, vol. 89, pág. 54-63, ISSN 0378-7796.

[6] Eduardo Prieto-Araujo, Fernando D. Bianchi, Adrià Junyent-Ferre and Oriol Gomis-Bellmunt, Methodology for Droop Control Dynamic Analysis of Multiterminal VSC-HVDC Grids for Offshore Wind Farms, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 26 Issue:4, pág. 2476-2485, ISSN 0885-8977.

[7] Fletcher Jin Yang, O'Reilly J.E, Multiterminal DC Wind Farm Collection Grid Internal Fault Analysis and Protection Design, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.25, no.4, pp.2308-2318, October 2010.

[8] Friends of the Supergrid, <http://www.friendsofthesupergrid.eu/>

AUTORES



Mònica Aragüés Peñalba. Estudiante de Doctorado en Ingeniería Eléctrica (UPC) e ingeniera de proyectos del Centro de Innovación Tecnológica en Convertidores Estáticos y Accionamientos (CITCEA-UPC) del Departamento de Ingeniería Eléctrica (DEE-UPC). Ingeniera Industrial, con especialidad en electricidad por la ETSEIB en 2011. Su tesis doctoral trata sobre modelización, control y simulación de parques eólicos offshore conectados mediante alta tensión en corriente continua y alta tensión

en corriente alterna. Desde Noviembre 2012 forma parte de la sección local del PES-IEEE. Sus intereses de investigación incluyen la integración de energías renovables, el transporte en alta tensión en corriente continua y alta tensión en corriente alterna, las microrredes y la aplicación de electrónica de potencia a redes.



Eduardo Prieto Araujo. Estudiante de Doctorado en Ingeniería Eléctrica (UPC) e ingeniero de proyectos del Centro de Innovación Tecnológica en Convertidores Estáticos y Accionamientos (CITCEA-UPC) del Departamento de Ingeniería Eléctrica (DEE-UPC). Ingeniero Industrial, con especialidad en automática por la ETSEIB en 2011. Su tesis doctoral trata sobre aplicaciones de control avanzado para la integración energías renovables a la red. Desde Noviembre 2012 forma parte de la sección local del PES-IEEE. Sus intereses de investigación incluyen máquinas eléctricas, integración de energías renovables, transporte en alta tensión en corriente continua, microrredes, electrónica de potencia y automatización industrial.



Agustí Egea Alvarez. Estudiante de Doctorado en Ingeniería Eléctrica (UPC) e ingeniero de proyectos del Centro de Innovación Tecnológica en Convertidores Estáticos y Accionamientos (CITCEA-UPC) del Departamento de Ingeniería Eléctrica (DEE-UPC). Ingeniero técnico industrial en electricidad por la EUETIB en 2008 e Ingeniero Industrial por la ETSEIB en 2010. Su tesis doctoral trata sobre las redes de transmisión de energía en corriente continua. Desde Noviembre 2012 es presidente de la sección local del PES-IEEE. Sus intereses de investigación son la aplicación de la electrónica de potencia a redes de transporte y distribución, los accionamientos eléctricos, las energías renovables y la electrificación ferroviaria.



Oriol Gomis Bellmunt. recibió el título de Ingeniería Industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona (ETSEIB) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Barcelona, en 2001 y el Doctorado en Ingeniería Eléctrica por la UPC en el 2007. En 1999 se unió a Engitrol S.L., donde trabajó como ingeniero de proyectos en la industria de automatización y control. En 2003, desarrolló parte de su Tesis doctoral en el DLR (Centro Aeroespacial Alemán) en Braunschweig (Alemania). Desde 2004 trabaja en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la UPC, donde es profesor y participa en el grupo de investigación CITCEA-UPC. Desde 2009 trabaja también en el Instituto de Investigación de Energía de Cataluña (IREC). Sus áreas de investigación incluyen actuadores eléctricos inteligentes, máquinas eléctricas, electrónica de potencia, integración de energías renovables a la red y automatización industrial.

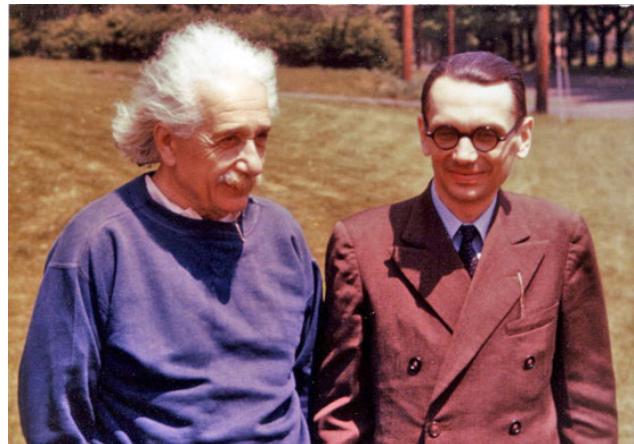
Hombres escondidos en fórmulas

Miguel Escudero

GÖDEL, EL SEÑOR POR QUÉ

EL año 2000 la revista ‘Time’ lo eligió entre los cien personajes más influyentes del siglo XX, el único matemático. Esto lo leo en el magnífico libro de Javier Fresán ‘La lógica de los escépticos’. Nació en 1906, en la ciudad checa de Brno. Pertenecía, por tanto, al Imperio austro-húngaro. Tras la hecatombe de la Primera Guerra Mundial, Kurt Gödel se encontró sin patria y en 1923 obtuvo la nacionalidad austriaca. Su abuelo materno intervino en numerosas empresas y fundó el servicio de ambulancias de Brno. La madre de Gödel había estudiado en el Liceo Francés, era una mujer culta que tocaba el piano y que siempre lamentó que sus hijos Rudolf y Kurt no quisieran gozar de la música clásica. Kurt fue un alumno muy brillante, y a causa de una fiebre reumática que tuvo con ocho años, desarrolló un presentimiento de enfermedad que lo torturaría toda su vida. Desde muy pequeño en su casa le llamaban “der Herr Warum” (el señor Por qué), una característica infantil que conservó siempre, sometiendo sus ideas al implacable examen de la duda. Con 18 años comenzó a estudiar físicas en la Universidad de Viena. Las excelentes clases de Philipp Furtwängler (hermano, por cierto, de un famoso compositor y director de orquesta, Wilhelm) sobre teoría de números le llevaron a decantarse por las matemáticas. Y, más en concreto, por la lógica, donde llegaría a ser uno de los mejores de todos los tiempos.

Con el objetivo de evitar las paradojas lógicas, una apariencia insalvable, se optó por suprimir la auto referencia en una proposición, como por ejemplo la de decir ‘esta es una proposición falsa’ (verdadera si y sólo si es falsa). El teorema de la validez sirve en un único sentido, esto es, cuando en una teoría consistente (donde no habita la contradicción, no existe en ella ninguna proposición tal que se pueda demostrar simultáneamente dicha proposición y su contraria), todas las proposiciones demostrables son también verdade-



ras. De aquí se deducirá que las teorías inconsistentes no tienen modelos, porque no hablan de nada. Con el teorema de la completitud se asegura que si una teoría es consistente, entonces hay un modelo en el cual los axiomas se verifican. Un sistema axiomático consistente es completo cuando, dada una sentencia A, si A no es demostrable, entonces su negación es un teorema de la teoría. Gödel probó que la aritmética (y cualquier sistema formal en el que se puedan introducir los números naturales) es incompleta en el sentido sintáctico. No dijo que hubieran verdades que no se puedan probar, sino que, una vez fijados los axiomas y las reglas deductivas de P, existen proposiciones que sabemos ciertas por su contenido, pero que son indecidibles en el sistema. Una fórmula es indecidible si ni ella ni su negación son teoremas. Así, en los sistemas completos no hay fórmulas indecidibles, y lo verdadero coincide con lo demostrable.

En 1929, el maestro Kurt concluyó su tesis doctoral, iniciada sólo diez meses antes. Cuatro años después, se incorporó al ‘Institut for Advanced Study’ como profesor invitado. Volvió a Europa –otra vez por barco– en junio de 1934, año en el que padeció un gran deterioro físico y mental, un sobre exceso de trabajo que junto a su temperamento inestable le produjo un colapso nervioso. Aquel verano murió su director de tesis Hahn, miembro, igual que él, del Círculo de Vie-

AUTORES

na, una tertulia selecta en un café. 1936 sería uno de los peores años de su vida: estuvo seis meses internado en un sanatorio. Dos años después se casó con Adele, una mujer providencial para él. No tuvieron hijos. A Gödel no se le renovó el contrato como ‘Dozent’. Finalmente, con los oportunos visados en la mano, él y su mujer se fueron a los Estados Unidos en enero de 1940, lo hicieron vía la Unión Soviética yendo en el transiberiano. Llegaron a San Francisco en marzo. En un informe que se le hizo se decía que “medía 1.70, es delgado, de complejión ligera, moreno y de ojos azules”. Después se dirigieron a Princeton, donde establecería una gran amistad con Einstein.

Von Neumann dijo de él que era el mejor lógico desde Leibniz, figura por la que Gödel profesaba una enorme devoción (llegó a decir que los manuscritos de Leibniz sobre la enciclopedia de ideas primitivas -sobre la cual se apoyaba su codificación- no habían visto la luz por una conspiración secreta, la de quienes no quieren que el hombre sea más inteligente).

Gödel, que tenía un profundo conocimiento de la física y que había reflexionado acerca del significado absoluto de la simultaneidad, creía que hay vida más allá de la muerte ‘porque la ciencia ha mostrado que la regularidad y el orden prevalecen sobre todas las cosas’. Este hombre que disfrutaba con películas como Bambi y Blancanieves se nacionalizó americano en 1947. Para ello, un juez le hizo preguntas sobre la Constitución. Y lo que debía ser puro trámite pudo acabar muy mal. Comenzó a decir a sus amigos que aquel texto era un ‘sistema inconsistente’ con lagunas lógicas. Murió en 1978, en medio de enormes trastornos físicos y psíquicos.



Miguel Escudero Royo es profesor titular de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de Barcelona, adscrito al Departamento de Matemática Aplicada IV de la Universidad Politécnica de Cataluña. También es Doctor en Filosofía y Letras y ha escrito artículos de opinión en publicaciones como "Cuenta y Razón", el diario "La Vanguardia" o "Buran".

PISA con empatía

Miguel Escudero

Todo el mundo sabe que existen unos informes PISA, que estudian y comparan el rendimiento educativo en sesenta y siete países acerca de tres áreas: comprensión lectora, competencia matemática y comprensión científica. Desde que comenzaron a publicarse, hace ya diez años, se han presentado cuatro entregas. PISA significa en inglés programas para la evaluación internacional de los alumnos (PEIA, en español; en inglés suena mejor). Estos trabajos tienen el prestigio de estar encargados por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE; suena mejor que en inglés, OECD, quizá porque las tres últimas siglas son tres letras seguidas del alfabeto o acaso se trate de su visión). Pero no nos liemos con sopas de letras. En las doscientas páginas del informe español encuentro curiosidades, como la de que en matemáticas Castilla y León queda por encima no sólo del resto de comunidades autónomas españolas, sino de los promedios de Alemania, Francia, Suecia, Reino Unido, Estados Unidos y, claro está, de la propia España. No obstante, en torno a estos análisis cabría tener presentes un par de recomendaciones muy sensatas que Francisco Luna, director del Instituto Vasco de Evaluación e Investigación, dio al respecto: «entender que PISA no es una liga de fútbol ni una competición de traineras y, segundo, no interpretar PISA de manera parcial con la idea de favorecer unas determinadas ideas educativas, porque en PISA hay de todo como en botica».

¿Hasta qué punto están relacionados entre sí estos resultados y cómo los podemos interpretar con una clave de mejora? Ésta sería la cuestión. Está bien prestarles atención para corregirnos, pero siendo conscientes de valores que aquí no se miden como son la sensibilidad y la empatía. Por de pronto, la carencia de tales cualidades o su deficiente grado de presencia tiene efectos devastadores. En nuestras escuelas hay frecuentes conductas antisociales, en las que se agrede los derechos de los demás. ¿Qué hacer

cuando se producen o, mejor, cómo prevenirlas? Ignacio García-Valiño ha trabajado como psicólogo en varios Institutos de Enseñanza Secundaria y señala en su libro ‘Educar a la pantera’ una fórmula que activa el acoso escolar: «Haz ver a los demás que la víctima escogida no es ‘uno de los nuestros’ y que, por tanto, no merece sino desprecio». De estas actitudes nos debemos apartar con toda energía y resolución. Sino quedaremos salpicados por el asco del matonismo y la chulería.

¿No practican, por cierto, esta sentencia que denuncia García-Valiño algunos adultos que nos rodean? Este psicólogo plantea asimismo la realidad de los niños secuestrados emocionalmente y fanatizados antes de poder pensar algo por ellos mismos.

Sobre estas cosas habría que hablar y actuar para el bien de todos. Para llevar una vida personal, y facilitársela a los demás, es fundamental desarrollar la empatía. Siempre son demasiados los que llevan «el odio pegado a los ojos». Se trata de percibir las emociones ajenas, y saber identificarnos con el estado de ánimo de los otros. No hay nada más reaccionario que vivir de espaldas a estas realidades, y ser indiferentes a ellas.

NOTA INFORMATIVA

LA IMPORTANCIA DEL ISSN

La aportación de los autores a la revista y, por ende, al público en general, tiene una recompensa final para todos, el ISSN.

¿Qué es el ISSN?

El ISSN (International Standard Serial Number / Número Internacional Normalizado de Publicaciones Seriadas) es un código numérico reconocido internacionalmente para la identificación de las publicaciones seriadas. El ISSN puede utilizarse siempre que haya que recoger o comunicar información referente a las publicaciones seriadas, evitando el trabajo y posibles errores de transcribir el título o la información bibliográfica pertinente. El ISSN identifica sin ambigüedades ni errores la publicación seriada a la que va asociado. Es el equivalente para las publicaciones seriadas a lo que es el ISBN para los libros.

¿Qué ventajas ofrece la posesión de un ISSN?

· EL ISSN permite identificar en todo el mundo, de una forma unívoca y sin ambigüedades, una publicación seriada, cualquiera que sea el país de edición o la lengua de la misma y sin importar que otras publicaciones seriadas lleven un título igual o parecido. Por ello el ISSN es un elemento básico en todos los procesos de información, comunicación, control y gestión referentes a las publicaciones seriadas.

· Asegura un medio de identificación preciso e inmediato cuando se hace un pedido.

· Permite un método de comunicación rápido y eficaz entre editores, distribuidores, libreros y agencias de suscripción, mejorando los circuitos de venta.

· El ISSN puede servir para la construcción de los códigos de barras de las publicaciones seriadas (que ya se incluye en la contraportada de esta misma revisita EAN-13).

· La asignación de un ISSN comporta también la inclusión de los datos de la publicación en la Base de datos internacional del ISSN. Esta base de datos es, por su volumen (alrededor de 750.000 registros en 1996), cobertura (mundial) y fiabilidad de sus datos, un recurso informativo esencial sobre las publicaciones seriadas.

· En las bibliotecas y centros de documentación facilita las operaciones de identificación, adquisición y préstamos. Asimismo, la base de datos del ISSN es la fuente más exhaustiva y autorizada para la catalogación de las publicaciones seriadas.

· Su asignación es completamente gratuita.

· Para los docentes, el hecho de publicar un artículo en una revista que posee un ISSN, les reporta más puntos en su investigación. En definitiva, todos aquellos autores que publican sus artículos en Buran, recibirán más puntos de los que recibían antes.

· Se puede encontrar más información sobre la temática relacionada al número de ISSN y las publicaciones seriadas en al página web de la Biblioteca Nacional: <http://www.bne.es>.

Direcciones de interés:

<http://www.bne.es>

<http://portal.issn.org/cgi-bin/gw/chameleon>

<http://www.barcodeisland.com/ean13.phtml>

<http://www.issn.org/>

Y por último recordar:

· Si una revista se relanza y/o retoma con un mismo título y con una misma temática, se puede utilizar, en caso de poseerlo, el ISSN anterior, ya que este sigue siendo válido para las futuras ediciones de la publicación.



BURAN 28

CALL FOR PAPERS

DEADLINE: 31 DE DICIEMBRE DE 2013

Información general:

Buran es la revista de divulgación científica y cultural, editada por la Branca d'Estudiants de l'IEEE de Barcelona, creada en marzo de 1993.

Dirigida tanto a estudiantes como a proyectos, profesores universitarios, personal de investigación o profesionales en general, Burán intenta establecer un canal de comunicación técnico-científico, que permita a cada uno de ellos acceder a un conocimiento, tan aproximado como se pueda, del estado del arte de las tecnologías de la información y comunicación.

El principal objetivo de la revista es la divulgación de opiniones y de los trabajos que se realizan en universidades y empresas, relacionados con cualquiera de las muchas actividades del IEEE o de carácter humanístico.

Información para los autores:

- Los artículos que se presenten deberán estar escritos en castellano o inglés.

- El formato de entrega de los artículos será primordialmente en archivo de Microsoft Word o de texto, aconsejando a los autores la inclusión de escritos gráficos o fotografías que faciliten la lectura y comprensión del escrito. En el caso de que se incluyan fotografías, se incorporarán en formato TIFF, en un fichero a parte.

- El artículo deberá contener un abstract en el que se haga un pequeño resumen introductorio sobre el tema a tratar y una breve biografía del autor/es.

- Aunque no hay restricción en el número de páginas en que conste el artículo, es recomendable cualquier extensión que comprenda un mínimo de 4 páginas y un máximo de 12.

- Dado que el número de páginas de la revista es limitado, se efectuará un proceso de selección de los artículos recibidos, quedando en archivo para próximos números aquellos que no pudieran ser publicados.

- El autor deberá hacer constar su nombre completo, el departamento al que pertenece (en caso de ser profesor o proyecto), escuela/facultad donde cursa sus estudios (en caso de ser estudiante), o empresa para la cual trabaja, dirección de correo electrónico y una fotografía de tamaño carnet en formato electrónico (preferiblemente en formato TIFF).

- Se recuerda el carácter divulgativo de los artículos.

Envío de artículos:

Los artículos se podrán enviar mediante correo electrónico o por correo ordinario a nuestro despacho.

Branca d'Estudiants de l'IEEE

Edifici OMEGA - S105
Campus Nord UPC
c/ Jordi Girona 1-3
08034 Barcelona (Spain)

ó

buran@ieee.upc.edu

Fecha límite de entrega:

31 DE DICIEMBRE DE 2013

Para cualquier duda o consulta sobre la recogida de artículos o para comunicar cualquier sugerencia sobre la revista:

email: ieee@ieee.upc.edu
web: <http://ieee.upc.es>

e-purancursositoro
robótica
desarrolloWeb...

ieee.upc.es



The image displays two side-by-side screenshots of a computer monitor showing the website for the IEEE Buran program. The left screenshot shows the main homepage with a large banner for 'Buran' and links for 'Buran', 'Buran20', and 'Buran21'. The right screenshot shows a detailed page for 'Buran20', featuring a green book cover for 'Buran20' and text about the program's goals and activities.



**“Creating
and Innovating
the Future”**



9 772013 971004

Rama de Estudiantes del
IEEE de Barcelona

