

0 1 0 0 1 1 0 0 1 1 1 0 1 0 0 0 1

RESUMEN

Este artículo describe un patrón de diseño, basado en el concepto de *Grafo Espacial*, que facilita el desarrollo de sistemas de información (SIG) orientados a objetos. El propósito del patrón es proveer una solución reutilizable al problema de la representación, manipulación y visualización de redes de servicios en SIG convencionales. El reuso del patrón permite que en una red de servicios cada nodo o enlace sea definido como un objeto espacial, esto agrega realismo a la manipulación y visualización de la misma. El patrón simplifica el diseño de aplicaciones proporcionando estructuras de diseño reutilizables en una gran variedad de dominios.

Palabras claves : Sistemas de información geográfica, Programación Orientada a Objetos, Redes de Servicio.

ABSTRACT

This article describes a design pattern, based on the concept of Spatial Graph that facilitates the development of systems of information (SIG) oriented to objects. The pattern's purpose is to provide a solution reusable to the problem of the representation, manipulation and visualization of nets of services in conventional SIG. The reuses of the pattern allows that in a net of services each node or connection is defined as a space object, this adds realism to the manipulation and visualization of the same one. The pattern simplifies the design of applications providing structures of design reusable in a great variety of domains.

Keywords: Gographic Information Systems. Object Oriented Programing, Net of Servicces.

USO DE PATRONES DE DISEÑO APLICADOS A GRAFOS ESPACIALES EN REDES DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Yajaira Ramos,
Universidad de Los Andes, Facultad de Arquitectura,
Mérida, Venezuela,
ryajaira@ula.ve

Jonás A. Montilva,
Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería,
Mérida, Venezuela,
jonas_aula@ula.ve

INTRODUCCIÓN

La teoría de grafos es una herramienta importante que permite modelar diversos problemas de la vida real. Entre las aplicaciones más comunes se encuentran: el modelado de redes viales, rutas de transporte, redes de computadores, redes de instalaciones sanitarias (aguas blancas y aguas negras), redes eléctricas, etc., y situaciones donde es importante la precedencia, como por ejemplo el pensa de materias de una carrera. Cuando a los grafos se les incorpora el manejo de flujos de datos, energía, agua, corriente etc., éstos permiten modelar redes de servicio.

Los grafos no sólo permiten modelar sino que también pueden proporcionar información acerca de

rutas óptimas, existencia de ciclos, puntos críticos, etc..

Una red de servicios está compuesta por un conjunto de entidades que se caracterizan fundamentalmente por poseer: propiedades espaciales tales como ubicación; propiedades geométricas tales como forma, dirección, tamaño, y propiedades topológicas tales como conectividad, relaciones de adyacencia e inclusión.

Hasta el presente, se han empleado los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para representar, manipular y visualizar las redes haciendo uso del computador. Los SIG emplean modelos de datos espaciales: vectoriales y raster. En los modelos vectoriales, una red se representa mediante grafos geométricos cuyos nodos y ejes se modelan mediante dos constructos: puntos y líneas. Ambos constructos capturan la localización de éstos en el espacio, pero no otras propiedades geométricas, tales como la forma y orientación que tienen los objetos de la red en el mundo real.

En los modelos raster, el constructo básico de modelado es la celda, los nodos y ejes de una red se representan mediante agrupaciones y secuencias lineales de las mismas. Una celda es un conjunto de pixels con forma rectangular. En este modelo, la calidad de la representación depende del tamaño de la celda se captura implícitamente la forma y topología de la red. Este modelo no permite distinguir entre nodos y ejes.

Debido a las deficiencias propias de los modelos, ambos requieren para su representación y almacenamiento el uso de dos notaciones diferentes: una para manipular los datos espaciales y otra para los

datos temáticos o no espaciales. Con el surgimiento de los modelos de datos OxD nace el modelo de grafos espaciales. Este modelo pretende resolver las limitaciones semánticas de los modelos vectorial y raster.

La principal cualidad de los modelos espaciales orientados a objetos es la naturalidad con que se modela el problema. Cada entidad espacial o no-espacial del dominio de aplicación del SIG se representa mediante un objeto, el cual captura las propiedades y comportamiento de la entidad representada.

El modelado orientado a objetos de un SIG consiste, esencialmente, en describir las clases de objetos espaciales y no espaciales relevantes al dominio de aplicación del SIG, así como establecer las relaciones entre estas clases. A diferencia de las clases de objetos no-espaciales, las clases espaciales guardan entre sí muchos elementos estructurales y de comportamiento comunes, que se repiten de una clase a otra y de una aplicación a otra. De igual manera, el modelado de redes de servicios tiene soluciones estructurales que se repiten de una aplicación SIG a otra. Estos aspectos y soluciones comunes en el modelado de redes de servicio motivaron el desarrollo de este trabajo, cuyo objetivo fue el desarrollo de patrones de diseño que pudiesen ser reutilizados para desarrollar diversas aplicaciones SIG, particularmente, aquellas relacionadas con el manejo de redes de servicios.

Un patrón de diseño de *software* es una solución reutilizable a un problema recurrente en el desarrollo de *software* [Gamma,95]. Su reutilización reduce el esfuerzo, tiempo y costo empleados

durante el diseño de software. Los patrones de diseño capturan la estructura y dinámica de una solución que se repite múltiples veces durante el desarrollo de diferentes aplicaciones, generalmente, en un contexto o dominio determinado.

En este artículo se presenta un patrón de diseño denominado *Grafo Espacial* que facilita el diseño de SIG orientados a objeto. Es un patrón cuyo propósito es resolver los problemas semánticos anteriormente mencionados en la representación de redes en SIG convencionales. La principal contribución de este patrón es la de proporcionar una solución reutilizable probadas al modelado orientado a objetos de SIG.

Las secciones 2 y 3 del artículo describen los conceptos de objeto espacial, grafo geométrico y grafo espaciales sobre los cuales se fundamentó el desarrollo del patrón de diseño. La sección 4 presenta el resultado de este trabajo, el patrón *Grafo Espacial*, y se discute, también, la aplicabilidad del patrón y su relevancia en el contexto de los SIG y el modelado de bases de datos espaciales. Finalmente, en la última sección se dan las conclusiones del trabajo.

2. Objetos espaciales

Un objeto espacial O es un objeto que representa la estructura y el comportamiento que tiene una entidad E del mundo real en un espacio E^n dado [Montilva,93]. De una manera más formal, un objeto espacial se define como sigue:

Definición: Un objeto espacial O es una estructura

de software $\langle A, Op \rangle$ en la que A es una tupla $\langle objld, geo, v_1, v_2, \dots, v_m \rangle$ de valores de atributos $ID, G, A_1, A_2, \dots, A_m$, tales que:

- *Objld*: Identifica en forma única e inequívoca a O , $Objld \hat{=} ID$. ID es el conjunto de todos los identificadores generados por el sistema de manejo de bases de datos;
- *Loc*: Representa la localización de O en en . $loc \hat{=} Ln$. Ln es un conjunto de puntos en en . Así para $n=2$, el valor de *loc* viene dado por un par de coordenadas $\langle x,y \rangle$ definidas sobre e_2 ;
- v_1, v_2, \dots, v_n representan valores de atributos de O , tales que $v_1 \hat{=} A_1, v_2 \hat{=} A_2, \dots, v_n \hat{=} A_n$; y
- Op es un conjunto de operaciones Op_1, Op_2, \dots, Op_m que actúan sobre el objeto O accediendo o modificando los valores de los atributos de A .

Los atributos $\langle A_1, A_2, \dots, A_n \rangle$ de A representan aquellas propiedades más relevantes que tiene la entidad E en el dominio de aplicación. Estos atributos pueden ser espaciales o no espaciales.

- *Atributos geométricos*: Permiten representar la geometría de la entidad E . El objeto espacial O representa esta geometría mediante la localización, forma, orientación y dirección que tiene la entidad E para una escala dada. La geometría del objeto O se captura utilizando puntos, líneas, polígonos o volúmenes cuyas coordenadas vienen dadas por un sistema de referencia o proyección determinado (p.ej., UTM, coordenadas geográficas).

- *Relaciones espaciales*: Capturan las relaciones que se dan en el espacio entre la entidad E

representada por O y otras entidades espaciales. Estas relaciones pueden ser de cuatro tipos: de orden espacial, topológicas, difusas y métricas. En la Tabla 1 se dan ejemplos de estos tipos de relaciones entre dos entidades A y B.

| Tipo de relación | Ejemplo |
|-------------------|--|
| De orden espacial | A está frente a B A está detrás de B A está a la derecha de B |
| Topológicas | A interseca a B A es adyacente a B A está dentro de B A es cubierta por B |
| Difusas | A está cerca de B A está lejos de B |
| Métricos | A está al Norte de B A está a Xmts de B |

Tabla 1. Relaciones espaciales típicas

| Tipo de relación | Ejemplo |
|------------------|---|
| Comparación | A es mayor que B A es igual a B |
| Funcional | A desemboca en B A produce B A posee a B |
| Clasificación | A es miembro de B A pertenece a la clase B |
| Composición | A es parte de B A está compuesto por B, C, ... |
| Temporal | A ocurre antes de B A es concurrente con B |

Tabla 2. Relaciones no-espaciales típicas

De igual manera, los atributos no-espaciales se dividen en :

- Atributos temáticos: Representan aquellas propiedades de una entidad E que no tienen relación con el espacio. Por ejemplo, nombre, tipo y número de canales de una carretera.
- Relaciones no espaciales: Denotan las relaciones no vinculadas al espacio que se dan entre dos entidades. Pueden ser de los siguientes

tipos: identidad, comparación, temporalidad, causalidad, oposición, funcionalidad, clasificación y composición. La Tabla 2 muestra diferentes tipos de relaciones no espaciales entre dos entidades A y B.

Los objetos espaciales son las unidades básicas de manipulación y almacenamiento de la base de datos de un SIG. Dentro de una base de datos espacial estos objetos se agrupan y/o son descritos por clases. Las clases de objetos de un SIG pueden ser espaciales o no, dependiendo del tipo de objetos que ellas describan. Una clase espacial describe una colección de objetos espaciales que tienen todos los mismos atributos y comportamiento. Por ejemplo, los ríos Chama, Mucujún y Albarregas del Estado Mérida, en Venezuela se representan mediante objetos espaciales o instancias de la clase espacial *Rios_de_Mérida*. Todos ellos tienen los mismos atributos, pero se diferencian el uno del otro por los valores que tienen estos atributos en un instante dado de tiempo. Una descripción formal del concepto de clase espacial se da en [Montilva,93]. [Ramos,00], la cual definimos como sigue :

Definición: Sea O el conjunto de todos los objetos espaciales. Un grafo espacial (GE) es un grafo $G(N,E)$ en el cual N es un conjunto finito $\{n_i\}$ de objetos espaciales con forma geométrica puntual o poligonal denominados nodos espaciales. E es un conjunto finito $\{e_i\}$ de objetos espaciales con forma geométrica lineal denominados ejes espaciales. La forma geométrica de cada e_k que pertenece a E conecta en las formas geométricas que tienen dos nodos espaciales n_i y n_j donde $n_i, n_j \in N$

Nótese que tanto los nodos como los ejes del grafo

espacial son definidos como objetos espaciales. Ello significa que además de representar la localización y conectividad de los objetos que componen una red, el grafo espacial permite capturar la forma, orientación y demás propiedades geométricas y topológicas de tales objetos. Por otro lado, el conjunto de operaciones, tanto propias como heredadas, de los nodos y ejes espaciales que componen un grafo espacial aseguran su manipulación y le imprimen un mayor grado de realismo a su visualización en dos o tres dimensiones. El modelo conceptual de un grafo espacial se ilustra en la figura 2. Tanto Nodo_Espacial como Eje_Espacial son clases compuestas de la clase Grafo_Espacial y son, a su vez, especializaciones de la clase Objeto_Espacial, la cual no se muestra en la figura 2.

4. El patrón Grafo Espacial

Basado en los conceptos de objeto espacial, grafo geométrico y grafo espacial, se propone a continuación un patrón de diseño denominado Grafo Espacial, mediante el cual se captura todos aquellos aspectos comunes o recurrentes en el diseño de redes de servicio. La forma Gamma [Gamma,95] simplificada es de nuevo utilizada aquí para describir el patrón. Una descripción detallada de este patrón es dada por Y. Ramos en [Ramos,00].

Nombre y alcance del patrón: El patrón Grafo Espacial permite representar redes de servicios en el espacio. La geometría de la red es definida por una colección de objetos espaciales puntuales o poligonales que se relacionan mediante objetos espaciales lineales formando una estructura de grafo georeferenciada.

Intención: El propósito del patrón Grafo Espacial es facilitar la representación, manipulación y visualiza-

ción de redes de servicio

Motivación: Los grafos han sido tradicionalmente usados para la representación de redes de servicio. Los grafos no sólo permiten modelar la estructura de la red, pueden también proporcionar información acerca de rutas óptimas, existencia de ciclos, puntos críticos, dirección del flujo, etc. Una red de servicios está normalmente compuesta por un conjunto de entidades; por ejemplo, estaciones de un metro urbano. Estas entidades se relacionan a través de otras entidades, tales como las secciones o tramos de cada línea de un metro urbano. Una primera característica fundamental de una red de servicio es que sus entidades son espaciales; tienen, por consiguiente, propiedades espaciales tanto geométricas (p.ej., localización, forma, dirección y orientación) como topológicas (p.ej., relaciones de adyacencia, conectividad e inclusión). La segunda característica de estas redes es que su estructura puede ser definida mediante un grafo.

Los grafos convencionales, tales como los grafos geométricos o los grafos planares, tienen limitaciones para capturar o representar las propiedades y el comportamiento espacial de las entidades de una red. El concepto de grafo espacial, descrito en la sección 3, provee una solución mucho más completa que la que proporciona un grafo geométrico o un grafo planar. Su habilidad para representar las propiedades espaciales y no espaciales de sus nodos y ejes le agregan mayor realismo a la representación de la red y facilitan su manipulación o manejo en un SIG.

Estructura de la solución: La representación, manipulación y visualización de una red de servicios se puede simplificar mediante la estructura que ilustra la figura 01.

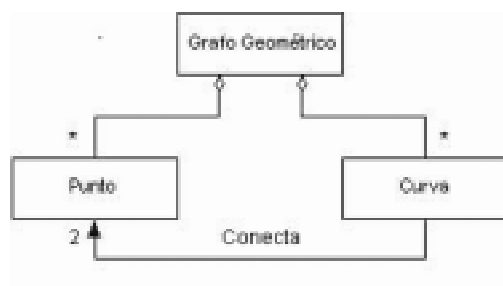


Fig. 01. Estructura del patrón Grafo Espacial

Clases participantes: La clase Grafo_Espacial describe la estructura y comportamiento común a todas las redes de servicios. Sus operaciones genéricas permiten agregar, modificar y eliminar los componentes de una red. Tal como se muestra en la figura 02, esta clase incluye, también, operaciones para la determinación de rutas posibles, rutas óptimas y convergencia a un nodo. Grafo_Espacial es una clase de agregación que comprende las clases Nodo_Espacial y Eje_Espacial. La clase Nodo_Espacial es una especialización de la clase abstracta Objeto_Espacial_NoLineal, la cual es usada para restringir los geometría de los nodos de una red a puntos o polígonos solamente. La clase Eje_Espacial es una especialización de Objeto_Espacial_Lineal. La asociación conecta indica que cada instancia de Eje_Espacial establece una conexión física o abstracta entre exactamente dos instancias de la clase Nodo_Espacial.

La estructura y el comportamiento de las clases del patrón se muestran en la Figura 4. Los atributos y operaciones heredadas de las superclases no son presentadas en esta figura, por razones de espacio.

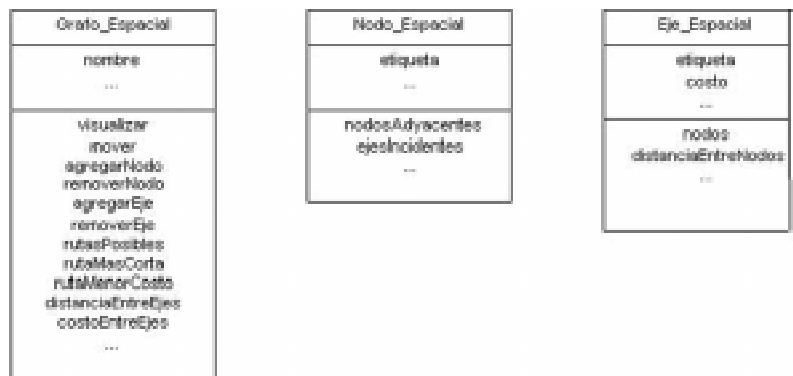


Fig. 02. Estructura y comportamiento de las clases del patrón Grafo Espacial

Aplicabilidad: El patrón Grafo Espacial puede ser aplicado en el diseño y modelado de una amplia variedad de SIG, pues la mayoría de estas aplicaciones contempla la representación, manejo y visualización de uno o más tipos de redes.

Escenario I: Uso del patrón de GE en una aplicación para el proceso de diseño arquitectónico.

En el proceso de diseño arquitectónico se plantean diversos problemas a resolver: relaciones espaciales, circulaciones, direccionalidad de recorrido, funcionalidad, interconexiones y demás variables que transforman este problema en un problema complejo.

Mediante el uso del modelo de GE se pueden analizar obras de arquitectura. Con su aplicación, pueden determinarse las ventajas, desventajas y puntos críticos que puede presentar una obra, en lo referente a su sistema funcional-circulatorio. De la misma forma, pueden ser analizadas las conexiones visuales, las acústicas o de adyacencia.

En las diferentes etapas de concreción de un proyecto arquitectónico, la teoría de grafos constituye un

eslabón clave. Una vez perfiladas las partes que conforman el proyecto, y antes de proceder al trazado de los primeros croquis predimensionales, resulta sumamente clarificador trazar el grafo de relaciones entre los elementos prefijados. Por supuesto, diferentes tipos de relaciones: acceso físico (puertas), acceso visual (ventanas, cristal, ...), pared común, ...etc., llevan a realizar diversos grafos sobre un mismo conjunto de elementos: tantos grafos como tipos de relaciones.

Para ilustrar lo antes expuesto, considere los planos de una vivienda como la que se muestra en la figura 03:

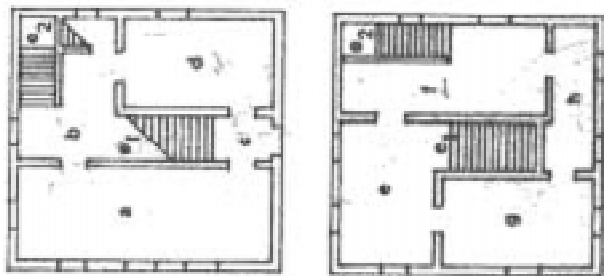


Fig. 03. Planos de planta baja y planta alta de una vivienda unifamiliar

Como se trata de una vivienda de dos plantas, se puede construir el grafo de accesos para cada una, y luego unir los puntos de acceso entre ellas (escaleras o ascensores) con segmentos o líneas punteadas que permita distinguirlos visualmente.

Si se emplean puntos para representar los espacios indicados en el plano por a, b, c, d, e, f, g y h y si se emplean arcos para indicar las conexiones entre los espacios (puertas, ventanas, escaleras), se obtendrá el grafo de la figura 04.

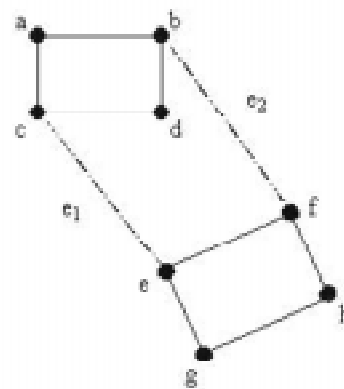


Fig. 04. Grafo de conexión entre los espacios de la vivienda de la figura 5

El estudio de los grafos aplicados al diseño arquitectónico puede aclarar siempre el grado de accesibilidad entre las distintas unidades espaciales, la correcta situación de los servicios y las instalaciones (bar, biblioteca, cine, escaleras de incendio, baños, etc.).

El grafo de la figura 04 es un grafo plano que muestra las adyacencias entre las unidades espaciales. Si a éste se le agregan propiedades espaciales en la representación de sus componentes, se extiende la capacidad de representación del modelo, ya que esto permite

pasar de una representación abstracta a una representación realística. Utilizando el paradigma de la O x O, se puede modelar el grafo extendido descrito anteriormente mediante un diagrama de clases como el que se presenta en la figura 05.

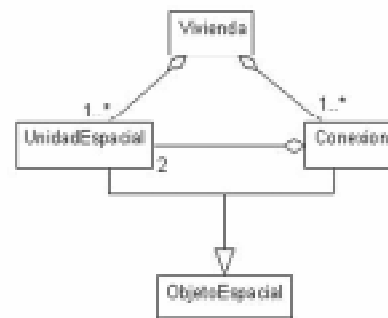


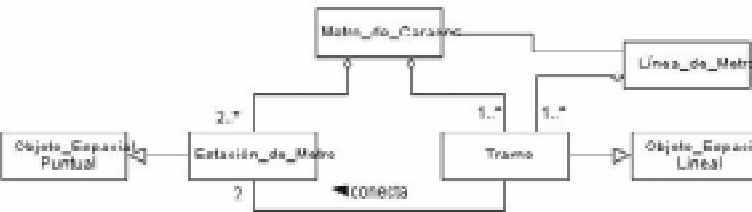
Fig. 05. Esquema conceptual de una vivienda

Otras aplicaciones diferentes se discuten en [Ramos,00].

Consecuencias (uso): El reuso del patrón Grafo Espacial se logra de dos maneras: (a) mediante el reemplazo textual de los nombres de las clases Grafo_Espacial, Nodo_Espacial y Eje_Espacial y (b) mediante la especialización de las clases del patrón.

La figura 06 ejemplifica la primera modalidad de reuso del patrón en el modelado de una red de transporte público, en este caso, del Metro de Caracas.

Fig. 06. Una aplicación del patrón Grafo Espacial



entre Grafo Espacial y sus objetos espaciales, esto facilita el entendimiento del Grafo Espacial, ya que evita las relaciones muchos a muchos a las que se puede llegar cuando nodos y ejes necesitan interactuar.

Desventajas

- * Los atributos de los objetos espaciales y de las clases que lo extienden no pueden ser todos públicos, ya que, su modificación en forma externa no puede ser detectada y afectaría la integridad de GrafoEspacialConcreto. Esto obliga a la construcción de observadores y transformadores para cada uno de los atributos del objeto espacial.

Aspectos de la implementación: La implementación del patrón Grafo Espacial y su variante, Digrafo Espacial, depende de la implementación de la clase Objeto Espacial.

Ventajas

- * El patrón proporciona un poderoso mecanismo para mantener la integridad de los Grafos Espaciales.
- * Provee un punto de control centralizado a toda la estructura de clases y objetos de Grafo Espacial, lo que facilita su administración desde la aplicación que lo instancia.
- * El punto anterior no implica que desde la aplicación no se pueda tener acceso a los nodos y ejes del Grafo Espacial. Si esto ocurre los objetos del Grafo Espacial tienen métodos que permiten informar a GrafoEspacialConcreto los eventos que modifican sus atributos y así mantener la integridad del grafo.
- * Este patrón establece una relación uno a muchos,

Usos potenciales: Algunas de las redes en las que el patrón puede ser aplicado se listan a continuación:

- * Redes de computadores (LAN, WAN, Internet, WWW)
- * Redes telefónicas, eléctricas, sanitarias
- * Redes de carreteras y transporte (p.ej., transporte aéreo, colectivo o privado)
- * Acueductos, oleoductos, refinerías

CONCLUSIONES

El patrón de diseño, descrito en este artículo, representan un activo de software reutilizable importantes en el diseño de aplicaciones SIG. El Grafo

Espacial, es un mecanismo de reuso que facilita el modelado, manipulación y visualización en dos y tres dimensiones de redes de servicio. Este último patrón permite modelar redes de una manera más natural, elegante y simple que aquella empleada en la mayoría de herramientas SIG existentes, las cuales utilizan, por lo general, las representaciones vectorial o raster para la implementación de redes. Más allá de su aplicación en el diseño conceptual de SIG y bases de datos espaciales, los patrones tienen utilidad en el desarrollo de herramientas o sistemas de software SIG. En este sentido, los patrones aquí descritos han sido aplicados en la creación de marcos de aplicación (application frameworks) dirigidos a facilitar la implementación de aplicaciones SIG orientadas a objetos. En [Ramos,00], Y. Ramos presenta un marco de aplicación elaborado en el lenguaje Java, el cual fue desarrollado a partir del patrón Grafo Espacial. El patrón será utilizado en la creación de una librería de componentes reutilizables para dominios de negocios, como parte de un proyecto de integración de software heterogéneo, realizado entre las Universidades de Los Andes y del Zulia en Venezuela. Otras aplicaciones posibles de estos patrones, que serán exploradas en el marco del citado proyecto, son (a) el desarrollo de herramientas SIG especializadas para la creación, actualización, manipulación y visualización de grafos espaciales, (b) el desarrollo de interfaces gráficas orientadas a objetos para extender las capacidades de una herramienta SIG convencional y (c) combinar las potencialidades del modelado y manipulación de los objetos de la red de servicios con el patrón y con aplicaciones CAD.

BIBLIOGRAFÍA

- [Grand,98] Grand, M. Patterns in Java. Volume I. John Wiley & Sons, 1998
- [Montilva,93] Montilva J. A. An integration method applied to the design of a data/knowledge model for multimedia and spatial applications, Ph.D. Thesis. University of Leeds, School of Computer Studies, Leeds, UK, 1993
- [Ramos,00] Ramos, Yajaira. Patrones de Diseño para Redes en Ingeniería y Arquitectura Basados en Grafos Espaciales. Tesis de Maestría. Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Postgrado en Computación. Mérida, 2000
- [Wackowicz,99] Wackowicz, M. Object-Oriented Design for Temporal GIS. Taylor&Francis, 1999