

Interoperability of Traffic Infrastructure Planning and Geospatial Information Systems

**Interoperabilität zwischen Verkehrsinfrastrukturdatenmodelle und
Geoinformationssysteme**

Nazereh Nejatbakhsh Esfahani

2016

Abstract

Building Information Modelling (BIM) as a *Model-based design* facilitates to investigate multiple solutions in the infrastructure planning process. The most important reason for implementing model-based design is to help designers and to increase communication between different design parties. It decentralizes and coordinates team collaboration and facilitates faster and lossless project data exchange and management across extended teams and external partners in project lifecycle.

Infrastructure are fundamental facilities, services, and installations needed for the functioning of a community or society, such as transportation, roads, communication systems, water and power networks, as well as power plants. **Geospatial Information Systems (GIS)** as the digital representation of the world are systems for maintaining, managing, modelling, analyzing, and visualizing of the world data including infrastructure. High level infrastructure suits mostly facilitate to analyze the infrastructure design based on the international or user defined standards. Called *regulation1-based design*, this minimizes errors, reduces costly design conflicts, increases time savings and provides consistent project quality, yet mostly in standalone solutions.

Tasks of infrastructure usually require both model based and regulation based design packages. Infrastructure tasks deal with cross-domain information. However, the corresponding data is split in several domain models. Besides infrastructure projects demand a lot of decision makings on governmental as well as on private level considering different data models. Therefore lossless flow of project data as well as documents like regulations across project team, stakeholders, governmental and private level is highly important. Yet infrastructure projects have largely been absent from product modelling discourses for a long time. Thus, as will be explained in chapter 2 interoperability is needed in infrastructure processes.

Multimodel (MM) is one of the interoperability methods which enable heterogeneous data models from various domains get bundled together into a container keeping their original format. Existing interoperability methods including existing MM solutions can't satisfactorily fulfill the typical demands of infrastructure information processes like dynamic data resources and a huge amount of inter model relations. Therefore chapter 3 concept of infrastructure information modelling investigates a method for loose and rule based coupling of exchangeable heterogeneous information spaces. This hypothesis is an extension for the existing MM to a rule-based Multimodel named extended Multimodel (eMM) with semantic rules – instead of static links. The semantic rules will be used to describe relations between data elements of various models dynamically in a link-database.

Most of the confusion about geospatial data models arises from their diversity. In some of these data models spatial IDs are the basic identities of entities and in some other data models there are no IDs. That is why in the geospatial data, data structure is more important than data models. There are always spatial indexes that enable accessing to the geodata. The most important unification of data models involved in infrastructure projects is the spatiality. Explained in chapter 4 the method of infrastructure information modelling for interoperation in spatial domains generate interlinks through spatial identity of entities. Match finding through spatial links enables any kind of data models sharing spatial property get interlinked. Through such spatial links each entity receives the spatial information from other data models which is related to the target entity due to sharing equivalent spatial index. This information will be the virtual properties for the object. The thesis uses Nearest Neighborhood algorithm for spatial match finding and performs filtering and refining approaches. For the abstraction of the spatial matching results hierarchical filtering techniques are used for refining the virtual properties. These approaches focus on two main application areas which are product model and Level of Detail (LoD).

For the eMM suggested in this thesis a rule based interoperability method between arbitrary data models of spatial domain has been developed. The implementation of this method enables transaction of data in spatial domains run loss less. The system architecture and the implementation which has been applied on the case study of this thesis namely infrastructure and geospatial data models are described in chapter 5.

Achieving afore mentioned aims results in reducing the whole project lifecycle costs, increasing reliability of the comprehensive fundamental information, and consequently in independent, cost-effective, aesthetically pleasing, and environmentally sensitive infrastructure design.

¹ Rule-based design in infrastructure, to avoid confusion with rule as semantic, rule is replaced with regulation

Kurzfassung

Building Information Modelling (BIM) als *Model-Based Design* ermöglicht vielfältige Lösungen im Infrastrukturplanungsprozess zu untersuchen. Der wichtigste Grund für die Implementierung des *Model-Based Design* ist Planern zu helfen, und die Kommunikation zwischen verschiedenen Planungspartnern zu erhöhen. Es dezentralisiert und koordiniert die Kollaboration und ermöglicht einen schnelleren und verlustfreien Projektdatenaustausch und Datenmanagement zwischen erweiterten Teams und externen Partnern im Projektlebenszyklus.

Infrastruktur sind grundlegende Einrichtungen, Dienste und Installationen, die für das Funktionieren einer Gesellschaft erforderlich sind, wie Verkehr, Straßen, Kommunikationssysteme, Wasser- und Stromnetze sowie Kraftwerke. **Geospatial Information Systems (GIS)** als die digitale Repräsentation der Welt sind Systeme für die Wartung, Verwaltung, Modellierung, Analyse und Visualisierung der Welt, einschließlich der Infrastruktur. Hochrangige Infrastrukturprogramme ermöglichen vor allem die Infrastrukturplanung, auf Grundlage der internationalen oder benutzerdefinierten Standards zu analysieren. *Regulation-Based Design*², minimiert Fehler, reduziert teure Planungskonflikte, erhöht die Zeitersparnis und sorgt für konsistente Projektqualität, dennoch meist als Einzellösungen.

Infrastrukturaufgaben erfordern in der Regel sowohl die *Model-Based* als auch die *Regulation-Based* Design-Pakete. Infrastrukturaufgaben befassen sich mit domänenübergreifenden Informationen, die in mehrere Domänenmodelle aufgeteilt sind. Darüber hinaus verlangen die Infrastrukturprojekte unter Berücksichtigung diverser Datenmodelle viele Entscheidungsfindungen auf staatlicher sowie privater Ebene. Daher ist ein verlustfreier Fluss von Daten und Dokumenten wie z.B. Vorschriften quer durch das Projektteam, den Beteiligten und den staatlichen und privaten Sektoren sehr wichtig. Dennoch war Produktmodellierung bei Infrastrukturprojekten für eine lange Zeit kein Kernthema. Deshalb wird wie in Kapitel 2 erläutert, Interoperabilität in Infrastrukturprozesse benötigt.

Multimodell (MM) ist eine Interoperabilitätsmethode, die die Bündelung heterogener Datenmodelle aus verschiedenen Domänen unter Beibehaltung ihrer ursprünglichen Formate in einem Container ermöglicht. Bestehende Interoperabilitätsmethoden einschließlich der bestehenden MM Lösung können die typischen Anforderungen der Infrastrukturinformationsprozesse wie dynamische Datenressourcen und große Menge an modelübergreifenden Beziehungen nicht zufriedenstellend erfüllen. Deshalb wird im Kapitel 3 Konzept der Infrastrukturinformationsmodellierung ein Verfahren zur losen und regelbasierten Kopplung von austauschbaren heterogenen Informationsräumen untersucht. Diese Hypothese ist eine Erweiterung für das bestehende MM zu einem regelbasierten Multimodell namens erweitertes Multimodell (eMM) mit semantischen Regeln anstelle von statischen Links. Die semantischen Regeln werden verwendet, um die Beziehungen zwischen Datenelemente von diversen Modellen in einer Link-Datenbank zu beschreiben.

Die meiste Verwirrung über Geospatial Datenmodelle ergibt sich aus ihrer Vielfalt. In einigen dieser Datenmodelle sind räumliche IDs die grundlegenden Identitäten von Entitäten und in einigen anderen Datenmodellen gibt es keine IDs. Deshalb ist in Geodaten die Datenstruktur wichtiger als das Datenmodell. Es gibt immer räumliche Indizes, die den Zugriff auf die Geodaten ermöglichen. Die wichtigste Vereinheitlichung der in Infrastrukturprojekten involvierten Datenmodelle ist die Räumlichkeit. Wie in Kapitel 4 beschrieben generiert die Infrastrukturinformationsmodellierung für die Interoperation der räumlichen Domänen die Links durch räumliche Identität von Entitäten. Die Matchfindung durch räumliche Links ermöglicht die Verknüpfung aller Datenmodelle mit räumlicher Eigenschaft. Durch einen räumlichen Link erhält jede Entität der Zieldomäne die räumlichen Informationen aus anderen Datenmodellen, die einen äquivalenten räumlichen Index beinhalten. Diese Informationen sind die virtuellen Eigenschaften des Objektes. Diese Dissertation verwendet den Nächste-Nachbar-Algorithmus für die räumliche Matchfindung, und führt Filterungs- und Verfeinerungsansätze durch. Für die Abstraktion der Ergebnisse der räumlichen Matchfindung wird zur Verfeinerung der virtuellen Eigenschaften hierarchische Filtertechniken verwendet. Diese Ansätze beziehen sich auf zwei Hauptanwendungsgebiete, diese sind das Produktmodell und der Detaillierungsgrad (LoD).

² Rule-Based Design in Infrastruktur, um die Verwechslung mit der Regel als Semantik zu vermeiden, wurde "rule" durch „regulation“ ersetzt.

Für das in dieser Dissertation vorgestellte eMM wurde ein regelbasiertes Interoperabilitätsverfahren zwischen beliebigen Datenmodellen von räumlichen Domänen entwickelt. Die Implementierung dieses Verfahrens ermöglicht einen verlustfreien Informationsfluss in räumlichen Domänen. Die Systemarchitektur und die Implementierung, die in der Fallstudie dieser Arbeit, nämlich Infrastruktur und GIS-Datenmodelle, angewendet wurden, sind in Kapitel 5 beschrieben.

Das Erreichen oben genannter Ziele ergibt die Reduzierung der Kosten während des gesamten Projektlebenszykluses, die Erhöhung der Nachhaltigkeit der umfassenden Grundlageinformationen und somit eine eigenständige, kosteneffektive, ästhetisch und ökologisch sensible Infrastrukturplanung.