



Doctoral Thesis

Real-time cartography in operational hydrology

Author(s):

Lienert, Christophe C.E.

Publication Date:

2010

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006288684> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 19355

REAL-TIME CARTOGRAPHY IN OPERATIONAL HYDROLOGY

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

CHRISTOPHE CHARLES EDOUARD LIENERT

Master of Science in Geography, University of Berne, Switzerland

26 March 1977

citizen of

Luzern (LU) and Einsiedeln (SZ)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Lorenz Hurni
Prof. Dr. Rolf Weingartner
Dr. Hans-Rudolf Bär

2010

ABSTRACT

In our fast-paced society, time has become a critical factor in numerous fields of human activity. In the field of natural hazard management, time has always played an important role, particularly in those phases shortly before, during and after the occurrence of hazardous events. Combined with relevant spatial information, time is one of *the* most important factors in preparation for these events. The extent of caused damage is closely connected to time: the more lead time available prior to the event, the more time is available for any stakeholder to take damage-minimizing measures.

In this dissertation, the investigated natural hazards are flood hazards. The stakeholders primarily addressed are operational hydrologists who are members of crisis management during floods. These experts need the most actual information in very flexible, dynamic and geo-referenced form to better advise peers or external parties. The targeted increase of lead time may be achieved by improving the methodology in the domain of meteorological and hydrological forecasting. In the presented thesis, another complementary approach is pursued. It is based on the idea of providing interactive, visual methods in an optimized, cartographic monitoring infrastructure, allowing hydrologists to retrieve and bundle their desired flood information in a time-saving way.

Hence, the two principal objectives of this thesis are likewise hydrological and cartographic. From a hydrological point of view, the principal objective is to valorize of the vast amount of real-time data by novel methods which facilitate their integral, interactive and individual use in time-critical situations. From a cartographic point of view, the principal objective is to develop novel data modeling and data access methods of such vast amounts of real-time data. A series of cartographic work steps that used to be achieved manually – such as data collection, storage, processing, visualization and archiving – has to be accomplished in a fully automated way. According to the module principle, the involved problems are tackled (1) by a central spatiotemporal database which handles historical, real-time and forecast data; (2) by a decentralized Web-based cartographic user interface drawing on the atlas metaphor, i.e., using maps to access the database; and (3) by various tools on this interface for map manipulation and data exploration.

This thesis is based on eight scientific research papers, encompassed by an introductory and a concluding chapter. The structure of the papers consists of three major parts: (1) concept and data model; (2) data access and real-time hydrological visualization; and (3) further data access and visualization approaches. In the overall data model, data values, their temporal, attributive, and spatial properties are held separate for each hydrological variable while relationships between these properties are modeled explicitly. Successful generation of real-time maps largely depend on the implementation of the data model in terms of a relational spatio-temporal database, in which multi-format data undergo a first harmonization. Three Web-based data access modes are developed in which these maps play a central role: monitoring, comparing, and retracing of real-time data. Automatically generated real-time hydrological visualizations include a wide range of point, line and area symbolizations. Further value is added by interactive methods that allow to query both vector- and raster-based visualization, as well as to further explore spatiotemporal dynamics of hydrological data. Complementary data access and visualization methods for real-time hydrological data are then discussed. Opportunities for data access in atlas platforms and the suitability of real-time three-dimensional visualization are examined.

Three main development strategies were followed from the start of the thesis: (1) close collaboration and exchange of ideas with practitioners, (2) use of true data originating from different institutional sources, covering the entire country of Switzerland, and (3) implementation of the developed concept (proof-of-concept). Owing to this practice-oriented approach, the usefulness of the methods, the graphical quality, and the high degree of interactivity of the generated maps received very encouraging feedback from operational hydrologists.

ZUSAMMENFASSUNG

In unserer schnelllebigen Gesellschaft ist Zeit in diversen Betätigungsfeldern ein immer kritischerer Faktor. Im Bereich des Naturgefahrenmanagements hat die Zeit immer eine wichtige Rolle gespielt, insbesondere in jenen Phasen kurz vor und während eines Ereigniseintritts. Zusammen mit den relevanten räumlichen Informationen ist Zeit einer *der* wichtigsten Faktoren bei der Umsetzung von Vorsorgemassnahmen für solche Ereignisse. Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Zeit und dem Schadensausmass: je grösser die Vorwarnzeit vor dem Ereignis ist, desto mehr Zeit steht allen Akteuren für schaden-minimierende Gegenmassnahmen zur Verfügung.

Bei der in dieser Dissertation untersuchten Naturgefahr handelt es sich um Hochwasser und die Akteure sind operationelle Hydrologen, welche während Hochwasserereignissen in Krisenstäben arbeiten. Solche Experten brauchen die aktuellsten Informationen in einer sehr flexiblen, dynamischen und geo-referenzierten Form, damit diese ihre Berufskollegen oder externe Stellen informieren können. Die anvisierte Ausdehnung der Vorwarnzeit kann durch eine Verbesserung der meteorologischen und hydrologischen Vorhersage erreicht werden. In der hier präsentierten Dissertation wird ein komplementärer Ansatz gewählt. Dieser besteht darin, operationellen Hydrologen einen zeitsparenden Abruf und Gebrauch ihrer gewünschten Informationen in einer optimierten kartografischen Monitoringinfrastruktur zu ermöglichen.

Daher sind die zwei Hauptziele gleichermaßen kartografischer und hydrologischer Art. Aus hydrologischer Sicht ist das Hauptziel die Inwertsetzung der umfangreichen Echtzeitdaten-mengen durch neuartige Methoden, welche den integrierten, interaktiven und individuellen Gebrauch dieser Daten in zeitkritischen Situationen vereinfachen. Aus kartografischer Sicht ist das Hauptziel, neuartige Methoden für die Datenmodellierung und den Datenzugang zu solch grossen Datenmengen zu entwickeln. Ein Reihe von kartografischen Arbeitsschritten müssen daher vollautomatisch erbracht werden, Schritte, die zuvor lediglich manuell oder semi-automatisch ausgeführt werden konnten. Dazu gehören das Sammeln, die Speicherung, die Verarbeitung, die Visualisierung und das Archivieren der Daten. Die damit verbundenen Probleme werden entsprechend eines Baukastenprinzips angegangen: (1) mit einer zentralen raumzeitlichen Datenbank, welche mit historischen, Echtzeit- und Vorhersagedaten umgehen kann; (2) durch den Einsatz einer Web-basierten kartografischen Benutzungsoberfläche, welche sich stark an die Atlas-Metapher anlehnt, d.h., einen Zugang zur Datenbank über aufbereitete Karten herstellt; und (3) durch das Bereitstellen von verschiedenen Kartenmanipulations- und Datenexplorationswerkzeugen in dieser Oberfläche.

Diese Dissertation basiert auf acht wissenschaftlichen Veröffentlichungen, umfasst von einem einführenden und einem schlussfolgernden Teil. Die Gliederung der Veröffentlichungen lassen sich drei Hauptteilen zuordnen: (1) Konzept und Datenmodell; (2) Datenzugang und Echtzeit-visualisierung hydrologischer Daten; und (3) weitere Datenzugangs- und Visualisierungsansätze. Das Gesamtdatenmodell basiert auf der Trennung von Datenwerten, deren temporalen, attributiven und räumlichen Eigenschaften. Die logischen Relationen zwischen diesen Eigenschaften werden jedoch explizit modelliert. Die erfolgreiche Erzeugung von Echtzeitkarten hängt zu einem grossen Teil von der Implementierung dieses Datenmodells in Form einer relationalen raumzeitlichen Datenbank ab, in welcher multi-formatige Daten einer ersten Harmonisierung unterzogen werden. Drei Web-basierte Datenzugänge werden entwickelt, bei welchen Karten die zentrale Rolle spielen: Das Begleiten, Vergleichen und Rückverfolgen von Echtzeitdaten. Die automatisch generierten hydrologischen Echtzeitvisualisierungen umfassen eine grosse Anzahl an verschiedenen Punkt-, Linien-, und

Flächensymbolisierungen. Zusätzliche Mehrwerte werden mit interaktiven Methoden geschaffen, welche einerseits erlauben, sowohl vektor- als auch rasterbasierte Visualisierungen direkt abzufragen und andererseits die raumzeitliche Dynamik von hydrologischen Daten näher zu erkunden. Darüberhinaus werden komplementäre Methoden für den Zugang und die Visualisierung von Echtzeitdaten diskutiert. Möglichkeiten des Datenzugangs in Atlasplatt-formen sowie die Eignung dreidimensionaler Echtzeitvisualisierungen werden untersucht.

Von Beginn der Dissertation wurden drei Strategien verfolgt: (1) enge Zusammenarbeit und Ideenaustausch mit der Praxis; (2) Verwendung von Echtzeitdaten aus Messnetzen von nationalen Instituten, welche die ganze Schweiz abdecken; und (3) Implementierung des entwickelten Konzepts (*Proof of Concept*). Dank diesem stark praxisorientierten Ansatz haben die verwendeten Methoden, die grafische Qualität und der hohe Grad an Interaktivität der produzierten Karten sehr vielversprechende Rückmeldung von operationellen Hydrologen bekommen.