

METODY VIZUALIZACE VÍCEDIMENZIONÁLNÍCH DAT PROSTŘEDNICTVÍM OTEVŘENÝCH WEBOVÝCH TECHNOLOGIÍ

Lukáš HERMAN¹

¹ Geografický ústav, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, 611 37, Brno, Česká republika
herman.lu@mail.muni.cz

Abstrakt

Příspěvek se zaměřuje na vizualizaci vícerozměrných prostorových dat. Ty lze zkoumat z více pohledů a to jak prostorových, tak konceptuálních. Analyzovány jsou proto různé metody propojení 2D a 3D reprezentace prostorových dat. Kombinované 2D a 3D vizualizace byly rozděleny do několika kategorií. Pro realizaci jednotlivých typů vícenásobné vizualizace byly použity otevřené webové technologie založené na XML (eXtensible Markup Language) – SVG (Scalable Vector Graphics) pro 2D grafiku a X3D (eXtensible 3D) pro 3D grafiku. Pro samotné propojení byl využit programový jazyk JavaScript. V závěru jsou diskutovány zjištěné poznatky a možné využití vícenásobné reprezentace prostorových dat.

Abstract

This paper is focused on the visualization of multi-dimensional spatial data. These data can be examined from several points of view, both spatial and conceptual. Different methods of linking 2D and 3D representations of spatial data are analyzed therefore. Combined 2D and 3D visualizations have been divided into several categories. Open Web technologies based on XML (eXtensible Markup Language) - SVG (Scalable Vector Graphics) for 2D graphics and X3D (eXtensible 3D) for 3D graphics were used for implementation of diverse variants of multiple visualizations. JavaScript language has been utilized for implementation of the connection itself. Finally ascertained findings and possible applications of multiple representations of spatial data are discussed in conclusion.

Klíčová slova: 3D vizualizace; JavaScript; SVG; X3D; webová kartografie.

Keywords: 3D visualization; JavaScript; SVG; X3D; web cartography.

1 ÚVOD

Díky vývoji webových technologií v posledních letech se 3D kartografická vizualizace neuplatňuje jen ve spojení s nákladným desktopovým softwarem. 3D prostorová data lze zobrazovat přímo ve webových prohlížečích s využitím otevřených programových knihoven založených na jazyce *JavaScript* a *WebGL* (Web Graphics Library). Pomocí těchto technologií lze v internetovém prohlížeči zobrazovat široké spektrum vizualizací od 3D kartogramů a kartodiagramů přes virtuální glóby až po komplexní modely krajiny či měst. Poznatky o zákonitostech 3D vizualizace však zatím pocházejí především z oblasti počítačové grafiky, jsou tedy technické rázu (např. Žára et al., 2005). To potvrzuje i Wood et al. (2005), uvádí že 3D vizualizace prostorových dat vychází spíše z technologických základů než z poznatků teoretických a proto stále nevíme dostatečné množství informací o efektivitě 3D vizualizace při zobrazování prostorových dat. Této otázce se však věnuje stále více autorů, například: Ware a Plumlee (2005), Wood et al. (2005), Shepherd (2008), Bleisch et al. (2010), Bandrova et al. (2012) Blesich (2012) či Schmidt et al. (2012).

2 TEORETICKÝ POHLED NA PROBLEMATIKU

3D vizualizace má na rozdíl od 2D vizualizace několik výhod při znázornění geografického prostoru. Při vizualizaci ve 3D prostoru je k dispozici více využitelného prostoru. K dispozici je minimálně jedna grafická proměnná navíc (výška), a je tak možné zobrazit více informací. Také další grafické proměnné, jako je velikost, mohou nést více informací. 3D vizualizace představuje přirozenější způsob zobrazení reálného

světa než 2D vizualizace. Pomocí 3D vizualizace je také možné vyřešit problém překrývajících se symbolů ve 2D mapě. Ve 3D prostoru mohou být tyto symboly umísťovány nad sebe (Shepherd, 2008).

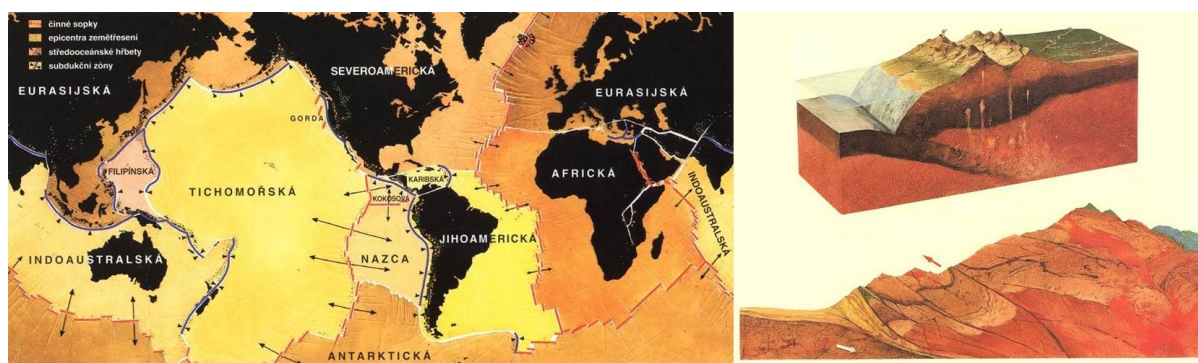
Kromě výhod má 3D vizualizace i specifické nevýhody. Pro vzájemné srovnání objektů při 3D vizualizaci představuje problém nestatečné měřítko v různých místech 3D scény, což je způsobeno perspektivním zkrácením. Ačkoliv 3D vizualizace napomáhá při řešení problému překrývajících se symbolů ve 2D, může i ve 3D dojít k překrytí některých prvků ve vykreslené scéně. Za takové prvky mohou být považovány nejen symboly, ale také popis (Shepherd, 2008; Ware a Plumlee, 2005). Shepherd (2008) uvádí také další slabiny 3D vizualizací. Problémy se srozumitelností 3D vizualizace mohou nastat kvůli závislosti velikosti 3D symbolů na poloze aktuálního pohledu nebo z důvodu přetížení osy Z informacemi. Je tedy nutné ještě doplnit, že 3D vizualizace není vždy lepší než 2D.

Jak zmiňuje Voženílek (2005) 3D vizualizace může efektivně prezentovat velké množství komplexních informací pro široké spektrum uživatelů. A je tak vhodná i pro uživatele, kteří mají malé nebo žádné zkušenosti s kartografií či geoinformatikou. Při použití 3D vizualizace je však nutné zohlednit její určitá specifika. Kromě již zmíněných vlastností, nastane významný problém, když uživatel ztratí přehled o tom, kde se v rámci 3D prostoru nachází. Je proto nezbytné usnadnit mu zjišťování polohy a orientace. Polohu lze reprezentovat buď číselně (zobrazením souřadnic) nebo graficky pomocí přehledové 2D mapy, což je názornější, a tedy i vhodnější. Kromě polohy (např. ve formě souřadnic X, Y, Z) je vhodné znázornit i aktuální orientaci aktuálního pohledu (tedy to, jakým směrem je aktuálně natočen). Opět je vhodnější použít grafické znázornění. Ware a Plumlee (2005) uvádějí, že přehledové mapy kombinované 3D vizualizacemi umožňují uživatelům získat znalosti o skutečném rozložení a vzdálenostech mezi objekty. To naznačuje, že kombinace přehledových a konkrétně zaměřených pohledů bude užitečné, pokud budou vzájemně propojeny

Ware a Plumlee (2005) dále zmiňují, že speciální okna nebo pohledy je vhodné používat, kdykoli je třeba srovnávat složitější objekty či vzory. Zároveň je zobrazení 3D scény současně ze dvou nebo více alternativních úhlů pohledu jedním z potenciálních řešení problému překrytí prvků ve 3D scéně. Propojení různých pohledů je realizováno prostřednictvím zástupného symbolu v pohledu (trojúhelník ve vertikálním pohledu ukazuje zorné pole v horizontálním pohledu) či spojených pohledů (stejně orientovaných vertikálních a šikmých pohledů). Oba způsoby jsou přínosné pro realizaci určitých úkolů v 3D prostředích. Užitečné je toto propojení především v případě potřeby ztotožnění polohy ve virtuálním prostředí s polohou v reálném světě, když je použití 3D scény málo efektivní a vhodnější je použít 2D mapy (Shepherd, 2008).

3 CHARAKTERISTIKA A KLASIFIKACE RŮZNÝCH ZPŮSOBŮ VÍCENÁSOBNÉ VIZUALIZACE

Použití 3D pohledů na stejná data nebo stejné území se vyskytuje i rámci analogových (tištěných) map. Velmi často jde o perspektivní pohledy na terén nebo blokdigramy. Blokdigramy, jež jsou obvykle definovány jako způsob kartografického znázornění výseku zemské kůry pomocí grafu znázorňujícího prostorový průmět průřezu topografické plochy, jsou častou součástí atlasů či učebnic. Analogové zobrazení blokdigramů však neřeší zakrytí určitých částí této 3D vizualizace – uživatel nemá šanci s danou scénou manipulovat, otáčet ji nebo jí procházet (viz obr. 1). Širší uplatnění proto nachází 3D vizualizace až v rámci elektronických map, zejména pak těch interaktivních.



Obr. 1. Mapa litosférický desek, geologický profil a blokdigram (převzato z: Hloušek a kol., 1997)

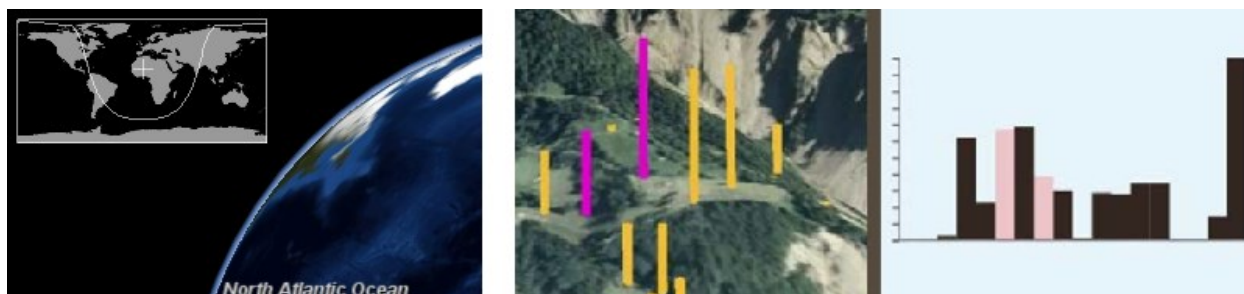
Jednotlivé způsoby vícenásobné vizualizace lze v první řadě rozdělit z hlediska vzájemného poměru velikostí 2D a 3D znázornění. V tomto směru lze rozlišit tři kategorie, v prvním případě je hlavní (dominantnější či větší) 2D vizualizace a 3D vizualizace je pouze doplňková. Druhou kategorií představují srovnatelné (vyvážené) 2D a 3D vizualizace, třetí skupinu tvoří dominantní 3D vizualizace s doplňkovou 2D vizualizací. Velmi důležitou roli při použití kombinace 2D a 3D pohledu hraje také jejich vzájemná umístění v rámci celkové mapové kompozice nebo GUI (*Graphical User Interface*). Jak ukazuje výzkum Popelky a Brychtové (2013), uživatelé se více zaměřují na vizualizaci umístěnou vlevo, a to bez ohledu na to, zda se jedná o 2D mapu nebo 3D scénu.



Obr. 2. 3D model architektonické památky v GoogleEarth a jeho poloha v GoogleMaps (převzato z: Sari a Karabork, 2011)

Vícenásobné vizualizace stejného území (stejných dat) lze rovněž klasifikovat na základě způsobu propojení jednotlivých vizualizací. Toto propojení se označuje jako *brushing*. Brushing je definován jako množina technik pro dynamické dotazování a přímý výběr prvků pro vizuální zobrazení. Slouží k propojení různých pohledů a pro dynamické dotazování zobrazených dat a zvýraznění dat vybraných v rámci jednoho pohledu i v pohledech dalších (Bleisch, Nebiker, 2008).

Rozdíly mezi 2D a 3D vizualizací mohou rovněž spočívat v obsahu či podrobnosti znázorňovaných dat na daném území. Toto lze vidět i na obr. 2, kde ve 3D scéně tvoří podklad ortofotomapa, zatímco v 2D vizualizaci je použit implicitní vzhled GoogleMaps. Je nutné doplnit, že 2D vizualizace, jak je zmiňována v této části, nemusí být vždy mapou, může se jednat také o graf či diagram, viz například Bleisch, Nebiker (2008). Proto můžeme rozdělit vícenásobné vizualizace 3D dat i podle účelu, ke kterému je určen 2D pohled. Může sloužit buď k podpoře orientace v 3D prostředí nebo k usnadnění vzájemného srovnání dat ve 3D scéně, případně k oběma účelům zároveň.



Obr. 3. Přehledová mapa z virtuálního glóbu NASA World Wind a propojení kartodiagramů lokalizovaných ve 3D scéně a grafu (sestaveno z: NASA World Wind, 2013; Bleisch a Nebiker, 2008)

Pokud je 2D pohled na data určen pro podporu orientace ve 3D prostředí, jedná se téměř výhradně o mapu a lze vymezit tři způsoby propojení 2D a 3D pohledu. První kategorií tvoří 2D vizualizace závislá na poloze na 3D scéně, druhou variantou je 3D vizualizace závislá na poloze v 2D vizualizaci a třetí typ představuje

oboustranné propojení. Při provázání pozice pohledu na 3D scénu, je kromě 2D souřadnic (X, Y) pro umístění v rámci 2D mapy vhodné přenášet vertikální polohu (výšku) nad 3D scénou nebo vzdálenosti od středu 3D scény a promítnout tyto charakteristiky do úrovně přiblížení (jako tzv. *zoom level*) v 2D mapě. Reprezentace pohybu virtuální kamery ve 3D scéně může být v 2D mapě realizována dvěma způsoby. Buď zůstává 2D mapa statická a posouvá se jen symbol znázorňující polohu, nebo se mapa automaticky posouvá – probíhá tzv. *pan*, a případně se také přibližuje a oddaluje (probíhá tzv. *zoom*).

4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

Možnosti implementace výše popsaných principů byly testovány na modelu brněnské městské části Nový Lískovec. Pro realizaci byly použity formáty založené na XML (*eXtensible Markup Language*) syntaxi, pro 3D vizualizaci X3D (*eXtensible 3D*) a pro 2D vizualizaci SVG (*Scalable Vector Graphics*). Oba tyto formáty lze přímo začlenit do HTML (*HyperText Markup Language*) zdrojového kódu webové stránky. Pro vykreslování ukázkové 3D vizualizace slouží knihovna X3DOM, což je programová knihovna v jazyce JavaScript umožňující vykreslování 3D scén přímo ve webovém prohlížeči bez nutnosti instalace zásuvných modulů. Podrobnějšímu popisu možností knihovny X3DOM se věnují Behr et al. (2011) nebo Herman a Řezník (2013). Externí X3D soubory byly do struktury HTML stránky začleněna pomocí elementu *Inline*. Pomocí jazyka *JavaScript* je pak kupříkladu možné modifikovat jejich vzhled, měnit režim pohybu po scéně (létání, chůze, zkoumání) a přesouvat se na předem definované pozice virtuální kamery.

Parametry pohledu na 3D scénu (virtuální kamery) jsou zadány pomocí atributů elementu *Viewpoint*:

- *position* – relativní pozice pohledu na scénu – stanoviště virtuální kamery (X_p, Y_p, Z_p) v lokálním souřadnicovém systému. Pozice je ovlivněna transformační hierarchií.
- *orientation* – rotace je relativní k implicitní orientaci stanovišti, která hledí ve směru osy Z (záporný směr), osu X (kladný směr) má na pravé straně a osu Y (kladný směr) nahoře. Jediná hodnota v tomto poli je dostačující pro kompletní definici jakékoliv orientace. Orientace je zadána vrcholem vektoru, kolem kterého se virtuální kamera otáčí (X_v, Y_v, Z_v), a úhlem otočení (φ) v radiánech. Počátek vektoru, kolem kterého se rotuje, je bod X_p, Y_p, Z_p . Směr otáčení je definován tzv. pravidlem pravé ruky.
- *fieldOfView* – zorný úhel z tohoto stanovišti, v radiánech. Implicitní hodnota pro toto pole je 45°. Velikostí úhlu lze simulovat různé objektivy na kameře (od širokouhlého po teleobjektiv).

Přehledová mapou je s 3D scénou svázána tak, že střed mapy odpovídá souřadnicím virtuální kamery. Samotná poloha kamery je vyjádřena prostřednictvím symbolu vytvořeného v SVG, který se promítá na podkladovou mapu. Podkladová mapa je vytvořena v knihovně *OpenLayers*, jenž poskytuje funkce pro získávání dat z WMS či WFS. SVG je podobně jako X3D vykreslováno přímo ve většině obvyklých webových prohlížečů (Microsoft Internet Explorer, Google Chrome, Mozilla Firefox, Opera).

Pro získávání pozice a orientace virtuální kamery je definována funkce *viewFunc*, která je volána pomocí *Event Listeneru viewpointChanged*. Orientace virtuální kamery ovlivňuje otočení symbolu v přehledové mapě (proměnná *2d_rotation*). Pro potřeby správného otočení je nutné znát hodnotu osy Y, protože otočení je definováno podle pravidla pravé ruky. Protože jsou souřadnice scény v souřadnicovém systému S-JTSK, je nutné počítat s pootočením o šest stupňů ve směru hodinových ručiček. Vzhledem k tomu, že SVG používá pro rotaci stupně a X3D radiány, je nutné tuto hodnoty převést. Ve zjednodušeném zdrojovém kódu je patrné, že horizontální rovina je v X3D definována souřadnicemi X a Z, zatímco osa Y je svislá. Pozice virtuální kamery v SVG je definována proměnnými *2d_coord_x* a *2d_coord_y*.

```
2d_coord_x, 2d_coord_y, 2d_rotation;
var pos = null;
var rot = null;

var viewFunc = function(evt) {
    pos = evt.position;
    rot = evt.orientation;
    var azimuth;
```

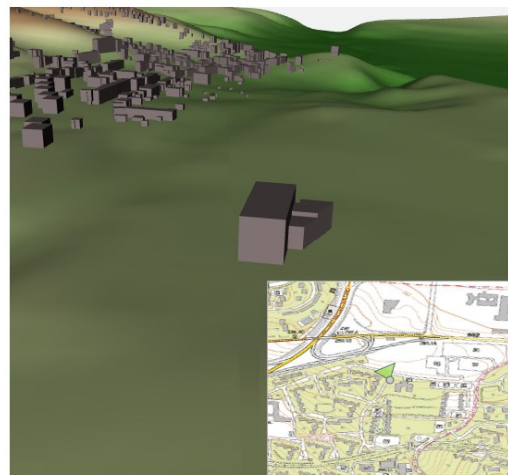
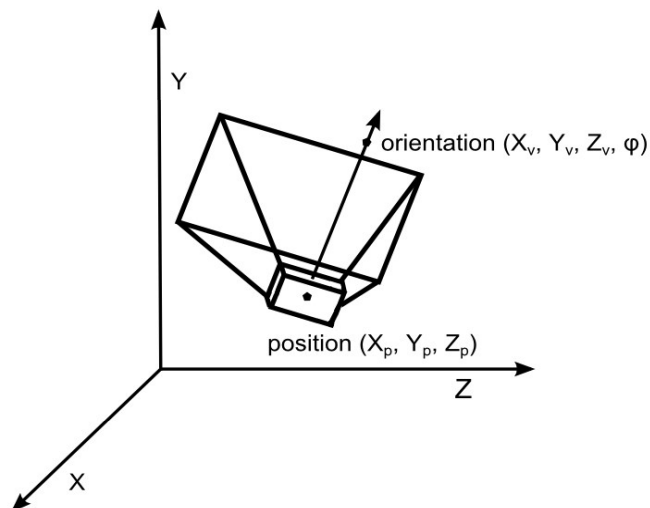
```

    if (rot[0].y < 0) { azimuth = ((6.28 - rot[1]) * 57.296); }
    if (rot[0].y >= 0) { azimuth = (rot[1] * 57.296); }

    2d_coord_x = pos.x;
    2d_coord_y = pos.z;
    2d_rotation = azimuth;
};

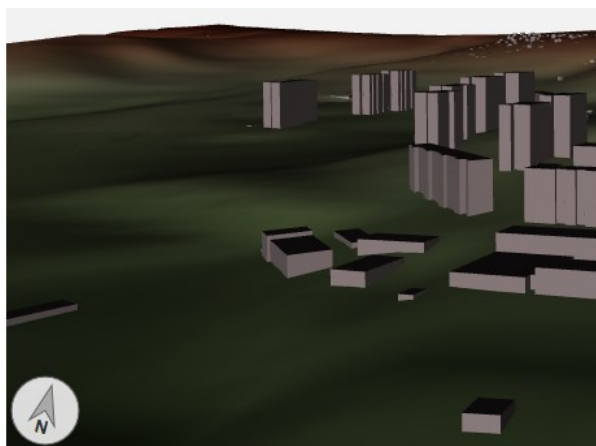
function addIt() {
    document.getElementById('defaultView').addEventListener('viewpointChanged',
        viewFunc, false);
}
document.onload = addIt;

```



Obr. 4. Definice pozice a orientace virtuální kamery v X3D a navržené propojení 3D scény a přehledové mapy

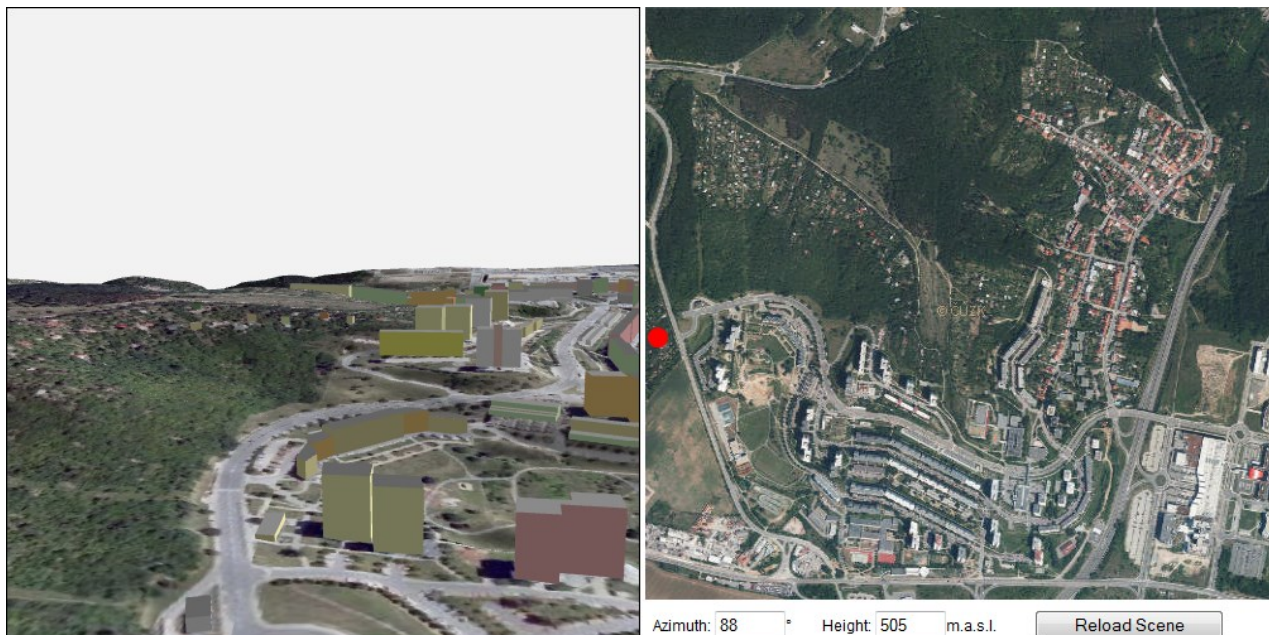
Při podpoře orientace ve virtuálním 3D prostředí lze používat i jiné prostředky než jsou přehledové mapy. Polohu je možné vyjádřit také pomocí číselného údaje. Souřadnice vyjadřující polohu jsou vkládány do HTML kódu, konkrétně do elementu DIV. Hodnoty souřadnic lze před vložení do webové stránky dále upravovat, např. zaokrouhlit. Kromě zaokrouhlení lze hodnoty souřadnic také transformovat do jiného souřadnicového systému. Zobrazené tak mohou být souřadnice v různých souřadnicových systémech. Číselná hodnota souřadnic je součástí HTML kódu. Obdobně jako polohu lze alternativně vyjádřit i orientací. Orientaci v aktuálním pohledu lze znázornit pomocí severky, která se automaticky otáčí. Pro implementaci interaktivní severky je rovněž použit formát SVG.



S-JTSK / Krovak East North: X = -602248.8 Y = -1162924.6

Obr. 5. Zobrazení souřadnic virtuální kamery a interaktivní severky

Realizace oboustranného propojení, tedy ovládní virtuální kamery prostřednictvím 2D mapy, vyžaduje implementaci také inverzního postupem zpracování polohy a orientace virtuální kamery. Výšku kamery je však nutné definovat zvlášť (numericky, mimo 2D mapu) nebo ji určit podle úrovně přiblížení mapy. Obdobně je možné číselně definovat i orientaci (jako azimut).



Obr. 6. Ovládní 3D scény prostřednictvím 2D mapy

5 SHRnutí A Závěr

Vzhledem k pokroku, ke kterému v oblasti 3D technologií došlo nebo v blízké budoucnosti dojde, bude nutné se, kromě technologií, zaměřit podstatně více také na uživatele a jeho kognici 3D vizualizací. V okamžiku, kdy padají technologické bariéry, by bylo vhodné se zaměřit na překonání bariér uživatelských. Nelze se domnívat, že by snad 3D vizualizace byla univerzálním řešením při vizualizaci prostorových dat. Její využití je možné spatřovat v oblasti popularizace, nebo tam kde je potřeba uživatele nějakým způsobem zaujmout.

3D vizualizace by však mohla být velmi vhodná pro specifické účely nebo specifické skupiny uživatelů. Kombinovaná 2D a 3D vizualizace se široce uplatňuje zejména v některých specifických oblastech kartografie, jako je například exploratorní kartografie, kde 3D vizualizace přináší možnost zkoumání závislosti tří proměnných nebo znázornění neklasifikovaných dat pomocí 3D kartogramů či diagramů. Rovněž lze vymezit některé tematické oblasti, kde má 3D vizualizace své opodstatnění. Těmi jsou kupříkladu geologie či geomorfologie. V těchto i příbuzných oborech je 3D vizualizace poměrně hojně rozšířená a webové technologie, jako X3DOM, by její použití mohly posunout ještě dále. Využití 3D vizualizace se aktuálně věnuje kupříkladu probíhající akce projektu COST nazvaná *SUB-URBAN - A European network to improve understanding and use of the ground beneath our cities* (TUD COST Action TU1206, 2014).

Další oblastí, kde je možné uvažovat o vhodném zapojení 3D vizualizace je facility management. Rozvody energií a další sítě jsou v moderních městech vedeny jak horizontálně, tak vertikálně a pro lepší přehled o skutečném povrchu či objemu potrubí je nutné pracovat s 3D daty. 3D vizualizace navíc může usnadnit nalezení konkrétního vedení v reálném prostoru. V obou uvedených tematických oblastech může být 3D vizualizace kombinována s 2D vizualizací. Jak prokázala tato studie, webové technologie využívající jazyk JavaScript a datové struktury uložené v XML syntaxi lze vzájemně poměrně snadno kombinovat.

Tento příspěvek byl financován v rámci řešení projektu specifického výzkumu Masarykovy univerzity MUNI/A/0952/2013 Analýza, hodnocení a vizualizace globálních environmentálních změn v krajinné sféře Země (AVIGLEZ).

LITERATURA

- Bandrova, T., Zlatanova, S., Konečný, M. (2012) Three-Dimensional Maps for Disaster Management. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. I-4, Melbourne, s. 245-250. ISSN: 2194-9042.
- Behr, J., Jung, Y., Drevensek, T., Aderhold, A. (2011) Dynamic and Interactive Aspects of X3DOM. Proceedings of the 16th International Conference on 3D Web Technology, červen 2011, Paříž, s. 81-87.
- Bleisch, S. (2012) 3D Geovisualization – Definition and Structures for the Assessment of Usefulness. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. I-2, Melbourne, s. 129-134. ISSN: 2194-9042
- Bleisch, S., Dykes, J., Nebiker, S. (2010) Forest or slope? Comparing 2d and 3d visualisations through the wording of task answers. Proceedings of the Sixth international conference on Geographic Information Science, září 2010, Zürich.
- Bleisch, S., Nebiker, S. (2008) Connected 2D and 3D Visualizations for the Interactive Exploration of Spatial Information. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII., B-2. Beijing. S. 1037-1042.
- Herman, L., Řezník, T. (2013) Web 3D Visualization of Noise Mapping for Extended INSPIRE Buildings Model. In Hřebíček, J., Schimak, G., Kubásek, M., Rizzoli, A. E. (eds.) Environmental Software Systems. Fostering Information Sharing. Springer, Berlin, Heidelberg, s. 414-424. ISBN: 978-3-642-41150-2.
- Hloušek, P. a kol. (1997) Velký atlas světa. 6. vyd. Kartografie Praha, Praha. 288 s. ISBN: 80-7011-514-9.
- NASA World Wind (2013) [cit. x]. URL: <<http://worldwind.arc.nasa.gov/>> [cit. 27-12.2012].
- Popelka, S., Brychtová, A. (2013) Eye-tracking Study on Different Perception of 2D and 3D Terrain Visualization. Cartographical Journal, Maney Publishing, Leeds, Vol. 50, No. 3, s. 240-246, ISSN 1743-2774.
- Sari, F., Karabork, H. (2011) 3D GIS Application by Implementing 3D City Model with Google Earth and Google Map Integration. Proceedings of the XXIII CIPA Symposium, září 2011, Praha.
- Shepherd, I. D. H. (2008) Travails in the Third Dimension: A Critical Evaluation of Three-dimensional Geographical Visualization. In McDerby, M., Turner, M. (eds.) Geographic Visualization: Concepts, Tools and Applications. Wiley, Chichester, s. 199-222, ISBN: 978-0-470-51511-2.
- Schmidt, M. A. R., Delazari, L. S., Mendonça, A. L. A. (2012) Evaluation of use of 3D Maps in Virtual Navigation. Proceedings of AutoCarto 2012, září 2012, Columbus, s. 16-18.
- TUD COST Action TU1206 (2014) URL: <http://www.cost.eu/domains_actions/tud/Actions/TU1206> [cit. 27-12.2012].
- Voženílek, V. (2005) Cartography for GIS: Geovisualization and Map Communication. 1st ed., Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 142 s., ISBN: 8024410478.
- Wood, J., Kirschenbauer, S., Döllner, J., Lopes, A., Bodum, L. (2005) Using 3D Visualization. In Dykes, J., MacEachren, A. M., Kraak, M. J. (eds.) Exploring Geovisualization, Elsevier Ltd., Kidlington, s. 295-312, ISBN 0-08-044531-4.
- Ware, C., Plumlee, M. (2005) 3D Geovisualization and the Structure of Visual Space. In Dykes, J., MacEachren, A. M., Kraak, M. J. (eds.) Exploring Geovisualization, Elsevier Ltd., Kidlington, s. 567-576. ISBN 0-08-044531-4.
- Žára, J., Beneš, B., Sochor, J., Felkel, P. (2005) Moderní počítačová grafika, 2. vyd. Computer Press, Brno. 609 s. ISBN 80-251-0454-0.