

Projetando Abordagens Analíticas Imersivas para a Exploração de Dados Espaço-Temporais

Jorge Wagner, Luciana Nedel

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
{jawfilho, nedel}@inf.ufrgs.br

Resumo: Um dos maiores desafios na computação atualmente é extrair informações relevantes de conjuntos de dados cada vez maiores. Técnicas de visualização de dados permitem aplicar as habilidades humanas de compreensão visual e conhecimento do domínio a este processo. A hipótese deste trabalho é que ambientes imersivos e estereoscópicos de Realidade Virtual (RV), combinados com interação natural, suportarão a exploração de representações de dados espaço-temporais inerentemente tridimensionais melhor do que ambientes *desktop* convencionais. Investigando-se esta hipótese, pretende-se identificar as escolhas de projeto mais eficientes para este tipo de aplicação em termos de interação e colaboração, através de sucessivas avaliações controladas com usuários empregando conjuntos de dados reais. Neste artigo, discute-se como resultados iniciais confirmam o potencial deste tipo de abordagem e quais são os próximos passos nesta pesquisa.

Palavras-chave: *Visualização imersiva; Cubo espaço-temporal; Visualização de trajetórias.*



Figura 1. Na primeira abordagem imersiva proposta neste trabalho para explorar dados espaço-temporais, trajetórias de movimentação dispostas tridimensionalmente ao longo do tempo e do espaço foram posicionadas sobre uma mesa virtual, a qual também oferece controles tangíveis.

1. Introdução

Entender como as posições de objetos ou pessoas variam ao longo do tempo e extrair padrões significativos e conclusões a partir destes dados é um tópico de interesse crescente para diversas categorias de usuários, desde pessoas comuns planejando seus deslocamentos até pesquisadores de geografia humana e agentes tomadores de decisões em órgãos públicos interessados em se preparar para possíveis situações futuras ou em analisar as movimentações passadas. Atualmente, dispositivos móveis equipados com GPS, redes de telecomunicação [1] e até mesmo redes sociais [2] são capazes de facilmente coletar grandes e detalhados conjuntos de dados registrando a movimentação de seus usuários ao longo do tempo. Aplicações como cidades inteligentes, planejamento de transportes, estudos comportamentais, controle de epidemias, bem como aquelas que visam aumentar o engajamento dos cidadãos na governança pública podem se beneficiar fortemente da análise de grandes volumes de dados como estes. A alta complexidade e

heterogeneidade destes dados invariavelmente requerem a integração da percepção e conhecimento de domínio humano às técnicas automatizadas de análise de dados. Todavia, visualizar atributos e padrões espaço-temporais essenciais nestes conjuntos de dados segue um desafio.

Representações baseadas em mapas bidimensionais focam na natureza espacial dos dados e, mesmo com a ajuda de animações, tornam difícil a observação de características como durações e velocidades variáveis de movimento, locais e durações de paradas e locais de encontro entre diferentes indivíduos (quando estes compartilham a mesma posição no tempo e no espaço). Representações tridimensionais são uma alternativa para abordar de forma mais adequada a natureza temporal destes dados, por exemplo ao empregar o eixo perpendicular ao mapa para representar a componente do tempo, o que resulta em um Cubo Espaço-Temporal (STC – *Space-Time Cube*).

No entanto, da mesma forma que outras representações tridimensionais de dados, o STC possui limitações bem conhecidas em termos de percepção e interação quando usado em ambientes convencionais do

tipo *desktop*. Estas limitações são resultado das dificuldades em estimar distâncias e profundidades a partir de apenas referências visuais monoculares, e da incompatibilidade em termos de controle entre um ambiente 3D e dispositivos de interação 2D como o *mouse*, além dos desafios introduzidos pela oclusão e poluição visual. Isto se torna ainda pior quando se leva em conta que especialistas no domínio dos dados tipicamente não são – e não deveriam precisar ser – treinados em manipulações 3D. Trabalhos anteriores apontaram que especialistas haviam reclamado especificamente da longa curva de aprendizado para a utilização do STC [3].

2. Trabalhos Relacionados

Originalmente proposto por Hägerstrand [4], o STC foi revisitado por Kraak [5] no contexto de um ambiente interativo de geovisualização e, posteriormente, aplicado a diversos domínios, como dados de eventos [6], trajetórias de navios [7], análise de tráfego aéreo [8] e dados de posicionamento de telefones móveis [3].

Alguns esforços iniciais para implementar representações imersivas de dados de movimento, como o STC, foram relatados por Theuns [9] usando um protótipo baseado em capacete de Realidade Virtual (RV), e por Saenz et al. [10] usando um capacete de Realidade Aumentada (RA). Moran et al. [11] também exploraram uma abordagem em RV para a visualização de *posts* geo-posicionados do *Twitter* originados no campus do MIT. Os *tweets* foram distribuídos em uma reprodução virtual do campus e a representação visual específica de cada um foi determinada de acordo com o seu conteúdo. Na aplicação *HoloMaps*, *tweets* geo-posicionados e informações de tráfego foram apresentados em tempo real um modelo de cidade 3D, usando o capacete de RA *HoloLens* [12]. Por fim, no sistema de RA *GeoGate*, Ssin et al. [13] combinaram uma tela 2D do tipo *tabletop* com “hologramas” tridimensionais em RA para visualizar trajetórias no domínio marítimo. Em razão do campo de visão limitado dos dispositivos de RA atuais, o STC foi exibido em tamanho pequeno e a sua posição controlada através da movimentação de um dispositivo tangível, o qual funcionou como um filtro espacial. O *GeoGate* foi capaz de reduzir erros em tarefas onde os usuários tinham que correlacionar diferentes fontes de dados.

3. Metodologia

O desafio de pesquisa que se propõe para este projeto consiste no planejamento e avaliação de representações imersivas eficientes para dados espaço-temporais. A hipótese é que ambientes de visualização imersiva [14] baseados em capacetes de RV e combinados com interação 3D natural melhor suportarão a exploração visual de tais dados tridimensionais altamente complexos, reduzindo a curva de aprendizado e as dificuldades de interação, como as relatadas anteriormente por Kveladze et al. [3].

A abordagem inicial é baseada na melhoria e expansão da técnica *VirtualDesk*, proposta em estudos anteriores voltados para a visualização imersiva de

dados multidimensionais [15], e na sua combinação com metáforas complementares tais como voo virtual e caminhar real para exploração egocêntrica dos dados. Na *VirtualDesk*, os dados são exibidos em pequena escala sobre uma reprodução virtual da mesa real de trabalho do analista, possibilitando interações incorporadas e tangíveis e oferecendo referências mais fortes de estereopsia e propriocepção. Anteriormente, esta abordagem resultou em benefícios de precisão em relação a uma alternativa *desktop* para tarefas de percepção de distâncias e densidades, ao mesmo tempo em que adicionou pouca ou nenhuma demanda temporal e não causou nem desconforto nem enjoo, até então uma preocupação séria em aplicações imersivas. Tendo em vista a natureza heterogênea dos dados espaço-temporais, múltiplas visualizações coordenadas serão necessárias, podendo ser posicionadas na superfície ou em torno da mesa virtual do analista.

Esta pesquisa segue uma estratégia iterativa de projeto e avaliação, utilizando avaliações controladas com usuários, tanto com participantes especialistas no domínio dos dados quanto com leigos.

4. Resultados Iniciais

A primeira etapa da pesquisa consistiu em validar o potencial de ambientes imersivos. Para isso, implementou-se um primeiro protótipo (ver Figuras 1, 2 e 3) e conduziu-se uma avaliação com usuários.

Em um experimento controlado [16], 20 participantes completaram 7 tarefas de diferentes níveis de dificuldade tanto no protótipo imersivo quanto em um ambiente *desktop* convencional. O primeiro atingiu uma pontuação de usabilidade significativamente mais elevada no questionário SUS [17] (82,3 vs. 62,1) e conquistou a preferência da maioria dos participantes - 19 o consideraram mais engajador, 18 mais intuitivo e 13 mais rápido. Além disso, a incidência de desconforto foi muito baixa (incremento médio de 2,8 pontos no questionário SSQ após o experimento), e a carga mental medida pelo questionário NASA-TLX significativamente reduzida (de 41,6 para 32,4).

Por fim, também foram coletadas recomendações de melhorias e novas funcionalidades a partir de uma colaboração em andamento com pesquisadores da geografia [18]. Estas recomendações incluem novas ferramentas, como planos de corte e filtros mais avançados, bem como o enriquecimento dos dados com uma maior variedade de atributos semânticos.

5. Discussão

As próximas etapas desta pesquisa incluem avaliações mais detalhadas com especialistas no domínio dos dados, e a aplicação da abordagem a conjuntos de dados espaço-temporais reais em diferentes domínios, tais como dados de mobilidade urbana e de saúde pública. Diferentes categorias de dados (e.g., dados de eventos, dados do tipo origem-destino, ou trajetórias de GPS) e maiores volumes de dados resultarão em diferentes requisitos de projeto, que precisarão ser suportados.



Figura 2. No cubo espaço-temporal imersivo, todas ações são implementadas por meio de gestos intuitivos, como segurar (topo), esticar (centro) e encostar (baixo). Contornos das mãos foram adicionados à figura para maior clareza



Figura 3. Ao reproduzir a mesa real do analista de dados no ambiente virtual, permite-se a interação tangível com comandos dispostos na superfície da mesma, além de agregar uma referência do mundo real.

Levando em conta o processo de trabalho típico de analistas de dados, também serão investigadas diferentes possibilidades de técnicas de interação e, especialmente, colaboração (tanto local quanto remota) e seus efeitos no desempenho analítico geral.

Espera-se que esta pesquisa culmine em um ambiente analítico imersivo completo, que suporte metáforas de exploração complementares e que seja capaz de auxiliar diferentes tipos de usuários, incluindo autoridades municipais, planejadores urbanos e pesquisadores em seus processos de tomada de decisões. Baseando-se no uso de dispositivos de baixo custo, este ambiente também deve ser capaz de engajar usuários regulares na exploração casual de dados [19].

De uma forma mais ampla, essas avaliações também resultarão em novas diretrizes para a construção de aplicações eficientes para visualização imersiva de dados [14], e para o projeto de técnicas apropriadas de interação e colaboração neste contexto.

6. Conclusão

Ambientes imersivos de Realidade Virtual mostram-se úteis para atividades de análise de grandes volumes de dados, possibilitando que analistas interajam de forma natural com dados tridimensionais. Resultados iniciais confirmaram que um Cubo Espaço-Temporal imersivo pode proporcionar maior usabilidade e menor carga mental em comparação a um ambiente *desktop* convencional. A partir de avaliações mais detalhadas com especialistas e novos conjuntos de dados, espera-se definir as abordagens mais adequadas para a visualização e interação com os dados nestes ambientes, de forma que possam auxiliar analistas e tomadores de decisão em ambientes reais.

Agradecimentos

Agradecemos financiamento recebido do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e de Global Affairs Canada. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Bibliografia

- [1] Calabrese, F.; Ferrari, L.; Blondel, V. D. (2015) Urban sensing using mobile phone network data: A survey of research. *ACM Computing Surveys* 47(3):1–20. DOI: [10.1145/2655691](https://doi.org/10.1145/2655691).
- [2] Noulas, A.; Scellato, S.; Mascolo, C.; Pontil, M. (2011) An empirical study of geographic user activity patterns in foursquare. Proc. Fifth International AAAI Conference on Weblogs and Social Media.
- [3] Kveladze, I.; Kraak, M.-J.; Van Elzakker, C. P. (2015) The space-time cube as part of a geovisual analytics environment to support the understanding of movement data. *International Journal of Geographical Information Science* 29(11):2001–2016. DOI: [10.1080/13658816.2015.1058386](https://doi.org/10.1080/13658816.2015.1058386).
- [4] Hagerstraand, T. (1970) What about people in regional science? *Papers in Regional Science* 24(1):7–24. DOI: [10.1007/BF01936872](https://doi.org/10.1007/BF01936872).
- [5] Kraak, M.-J. (2003) The space-time cube revisited from a geovisualization perspective. Proc. 21st International Cartographic Conference. Citeseer, pp. 1988–1996.
- [6] Gatalisky, P.; Andrienko, N.; Andrienko, G. (2004) Interactive analysis of event data using space-time cube. In: Proc. International Conference on Information Visualisation (IV). IEEE, pp. 145–152 .
- [7] Andrienko, N.; Andrienko, G. (2013) Visual analytics of movement: An overview of methods, tools and procedures. *Information Visualization*, 12(1):3–24. DOI: [10.1177/1473871612457601](https://doi.org/10.1177/1473871612457601).
- [8] Buschmann, S.; Trapp, M.; Dollner, J. (2016) Animated visualization of spatial-temporal trajectory data for air-traffic analysis. *The Visual Computer* 32(3):371–381. DOI: [10.1007/s00371-015-1185-9](https://doi.org/10.1007/s00371-015-1185-9).
- [9] Theuns, J. (2017) Visualising origin-destination data with virtual reality: Functional prototypes and a framework for continued VR research at the itc faculty. B.S. Thesis, University of Twente.
- [10] Saenz, M.; Baigelenov, A.; Hung, Y.-H.; Parsons, P. (2017) Reexamining the cognitive utility of 3D visualizations using augmented reality holograms. Proc. IEEE VIS Workshop on Immersive Analytics. IEEE
- [11] Moran, A.; Gadepally, V.; Hubbell, M.; Kepner, J. (2015) Improving big data visual analytics with interactive virtual reality. Proc. IEEE High Performance Extreme Computing Conference. p. 1-6. DOI: [10.1109/HPEC.2015.7322473](https://doi.org/10.1109/HPEC.2015.7322473).
- [12] Hills-Duty, R. (2017) Taqtile are creating new holomaps for the hololens. Online: <https://www.vrfocus.com/2017/07/taqtile-are-creating-new-holomapsfor-the-hololens>. Acesso em 22/10/17.
- [13] Ssin, S. Y.; Walsh, J. A.; Smith, R. T.; Cunningham, A.; Thomas, B. H. (2019) Geogate: Correlating geo-temporal datasets using an augmented reality space-time cube and tangible interactions. Proc. 26th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces. p. 210-219. DOI: [10.1109/VR.2019.8797812](https://doi.org/10.1109/VR.2019.8797812).
- [14] Chandler, T.; Cordeil, M.; Czauderna, T.; Dwyer, T.; Glowacki, J.; Goncu, C.; Klapperstueck, M.; Klein, K.; Marriott, K.; Schreiber F. et al. (2015) Immersive analytics. Proc. 2015 Big Data Visual Analytics (BDVA). p. 1-8. DOI: [10.1109/BDVA.2015.7314296](https://doi.org/10.1109/BDVA.2015.7314296).
- [15] Wagner Filho, J. A.; Freitas, C. M.; Nedel, L. (2018) VirtualDesk: A Comfortable and Efficient Immersive Information Visualization Approach. *Computer Graphics Forum* 37(3):415-426. DOI: [10.1111/cgf.13430](https://doi.org/10.1111/cgf.13430).
- [16] Wagner Filho, J. A.; Stuerzlinger, W.; Nedel, L. (2019) Evaluating an immersive space-time cube geovisualization for intuitive trajectory data exploration. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 26(1): 514-524. DOI: [10.1109/TVCG.2019.2934415](https://doi.org/10.1109/TVCG.2019.2934415).
- [17] Brooke, J. (1996) SUS-A quick and dirty usability scale. Usability Evaluation in Industry, ch. 21.
- [18] Wagner Filho, J. A.; Freitas, C. M. D. S.; Nedel, L. (2019) Comfortable immersive analytics with the virtualdesk metaphor. *IEEE Computer Graphics and Applications* 39(3): 41-53. DOI: [10.1109/MCG.2019.2898856](https://doi.org/10.1109/MCG.2019.2898856).
- [19] Pousman, Z.; Stasko, J.T (2007) Casual information visualization: depictions of data in everyday life. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 13(6):1145–1152. DOI: [10.1109/TVCG.2007.70541](https://doi.org/10.1109/TVCG.2007.70541).