



Flächennutzungsmonitoring X Flächenpolitik – Flächenmanagement – Indikatoren

IÖR Schriften Band 76 · 2018

ISBN: 978-3-944101-76-7

Aktives Lernen für Informationsextraktion aus historischen Karten

Thomas C. van Dijk

van Dijk, T. C. (2018): Aktives Lernen für Informationsextraktion aus historischen Karten. In: Meinel, G.; Schumacher, U.; Behnisch, M.; Krüger, T. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring X. Flächenpolitik – Flächenmanagement – Indikatoren. Berlin: Rhombos, IÖR Schriften 76, S. 181-186.

Aktives Lernen für Informationsextraktion aus historischen Karten

Thomas C. van Dijk

Zusammenfassung

Es gibt viele praktische Probleme im GIS, die derzeit nicht automatisch gelöst werden können, nicht weil unsere Algorithmen zu langsam sind, sondern weil wir überhaupt keinen zufriedenstellenden Algorithmus haben. Dies kann vorkommen, wenn es um Semantik geht, z. B. beim Extrahieren von Informationen oder beim Entwerfen von Visualisierungen.

Von einem Computer kann derzeit nicht erwartet werden, dass er solche Probleme völlig unbeaufsichtigt löst. Darum betrachten wir den menschlichen Einsatz explizit als Ressource. Ein Algorithmus soll so viel Arbeit wie möglich in hoher Qualität leisten – aber entscheidend ist auch, dass er intelligent genug ist, um zu sehen, wo er Hilfe braucht, was er den Benutzer fragen sollte und wie er dessen Antworten berücksichtigt. Dieses Konzept bezieht sich auf neue Bereiche der Informatik wie aktives Lernen, aber wir legen den Fokus auf das richtige Design und die Analyse von Algorithmen und den daraus resultierenden Dialog zwischen Algorithmus und Mensch, den wir algorithmisch geführte Benutzerinteraktion nennen. Dieser Ansatz soll auf die Informationsextraktion aus historischen Karten angewandt werden.

1 Einleitung

Die „algorithmische Linse“ ist die Sichtweise der Informatik, die neue Einsichten und Denkweisen liefert: Die Informatik ermöglicht es nicht nur, Aufgaben schnell zu lösen, sondern führt durch eine alternative Perspektive zu unvorhergesehenen Einsichten. In diesem Artikel argumentieren wir, dass diese algorithmische Linse auf die Interaktion des Benutzers mit geographischen Informationen angewendet werden sollte. Ausgangspunkt für unseren Anspruch ist, dass viele Aufgaben im Bereich GIS mit Semantik zu tun haben und derzeit nicht vollautomatisch gelöst werden können.

Die allgemeine Vorlage für den Entwurf von Algorithmen für GIS-Anwendungen ist (oder: sollte sein): zuerst eine formale Problemstellung entwickeln und dann eine algorithmische Lösung für dieses Problem finden. Es kann sein, dass es nicht sofort klar (oder subjektiv) ist, was das eigentliche Ziel ist. Gute Forschungspraxis ist es dann, die folgende Rückkopplungsschleife durchzuführen:

1. Eine vorläufige Problemdefinition entwickeln (Zielfunktion, Einschränkungen).
2. Algorithmen und/oder Heuristiken für dieses Problem entwickeln.

3. Die berechneten Lösungen auswerten.
4. Ab Schritt 1 wiederholen bis zur Zufriedenstellung durch Schritt 3.

Dies ist eine leistungsfähige Methode zur Lösung praktischer Probleme. Es kann jedoch grundlegend unklar sein, welches die richtigen Ziele und Einschränkungen sind, wenn es um Semantik geht. Um diesen Punkt zu veranschaulichen, diskutieren wir die Extraktion von Informationen aus historischen Karten.

In den letzten Jahren wurde immer wieder argumentiert, dass in historischen raumzeitlichen Datensätzen und historischen Geographischen Informationssystemen ein großes Potenzial steckt (z. B. Chiang 2015). Solche Daten sind sowohl in den Geistes- als auch in den Naturwissenschaften von großem wissenschaftlichen Interesse. Ein wichtiger Schritt ist daher die automatische Extraktion von Informationen aus historischen Karten. Das Problem, „alles auf dieser Karte zu verstehen“, ist jedoch so vage und die Datenvielfalt so groß, dass es schwierig ist, saubere Problemstellungen zu spezifizieren. Oft ist es sogar unklar, was die Eingabedaten für einen Algorithmus sein sollen. Der klassische Sinn einer durch einen Algorithmus zu lösenden Problemstellung bricht zusammen, wenn wir nicht in der Lage sind, das Ziel oder die Eingabe ausreichend zu formalisieren. Das bedeutet aber nicht, dass der algorithmische Ansatz aufgegeben werden muss, sondern dass wir die algorithmische Linse auf diese klassisch schlecht definierten Probleme anwenden sollen und somit die Entwicklung der Informatik vorantreiben. Wir schlagen die Entwicklung von Algorithmen mit Benutzerinteraktion auf der Ebene der einzelnen Instanzen vor. Dies führt zu einer zweiten Rückkopplungsschleife, in der der Algorithmus und der Benutzer (oder eine Gruppe von Benutzern) zusammenarbeiten, um einen effizient berechneten ersten Versuch – wie folgt – in eine zuverlässige Lösung zu verwandeln:

1. Algorithmus berechnet eine erste Lösung.
2. Benutzer bewertet die aktuelle Lösung, geleitet vom Algorithmus.
3. Benutzer fügt Hinweise oder Korrekturen hinzu.
4. Der Algorithmus integriert diese in eine neue Lösung, gibt Rückmeldung darüber, wie sich die aufgebauten Benutzereingaben auf die aktuelle Lösung auswirken und bittet möglicherweise um Hilfe zu bestimmten Teilen der Instanz.
5. Wiederhole ab Schritt 2 wenn nötig.

Diese Schleife erinnert an das Konzept des aktiven Lernens, aber in einem allgemeineren Rahmen und kann in einigen unserer früheren Arbeiten (Budig et al. 2015, 2016, 2016b) gesehen werden.

Unsere übergreifende Forschungsfrage ist folgende: Auf welche Weise kann ein Algorithmus einen Benutzer bei einer mathematisch schlecht definierten Aufgabe effizient unterstützen?

Basierend auf dem Stand der Technik schlagen wir vor, dass die Antwort auf diese Frage auf Sensitivitätsanalyse und dem aktiven (maschinellen) Lernen basiert. Crowdsourcing soll auch in diesem Licht betrachtet werden, was weitreichende Auswirkungen auf den Bereich der Volunteered Geographic Information (VGI) hat, was wir derzeit in einem Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft (www.vgiscience.org) untersuchen.

2 Anwendungsfall historische Karten

In einem aktuellen Artikel fordert Chiang (2015) ausdrücklich halbautomatische Kartenverarbeitungssoftware, um Kartenmerkmale (inklusive Unsicherheitsmaßen) effizient zu extrahieren und diese Software mittels Crowdsourcing trainierbar zu machen. Wie sich gezeigt hat, ist die Analyse der Inhalte historischer Karten ein komplexer und zeitraubender Prozess. Automatisierte Werkzeuge sind aus verschiedenen Gründen kaum vorhanden. Zum einen gibt es eine große Vielfalt an Zeichenstilen in historischen Karten. Dies macht es schwer, auf einer großen Anzahl von Karten zuverlässig gute Ergebnisse bei der automatischen Analyse zu erzielen. Tools wie „Recogito“ haben zwar ein ansprechendes Webinterface (Simon 2015), unterstützen den Nutzer aber nicht sinnvoll bei Karten: Interaktionen des menschlichen Nutzers werden ineffizient eingesetzt.

Zudem sind Bildverarbeitungssysteme für historische Karten in der Regel sehr empfindlich auf ihre Parameter und erfordern fein abgestimmte Einstellungen. Höhn et al. (2013) verweisen in diesem Zusammenhang ausdrücklich auf bestehenden Forschungsbedarf: Ihre Experimente funktionieren gut, lassen sich aber nicht unbedingt auf andere Karten verallgemeinern. Es gibt einige vollautomatische Ansätze, aber nur für eingeschränkte Kartensammlungen. Zum Beispiel beschreiben Leyk et al. (2006) eine Methode, um die Waldflächen in einem bestimmten Satz topographischer Karten aus dem 19. Jahrhundert zu extrahieren. Die Wirksamkeit solcher Ansätze ist auf die Homogenität dieser im historischen Kontext relativ neuen Karten zurückzuführen.

Algorithmen zur Extraktion semantischer Informationen aus Rasterbildern sind vielfach noch nicht ausgereift, was an der Schwierigkeit liegt, die bestehenden Probleme maschinensprachlich zu formalisieren. Nachfolgend stellen wir dar, wie eine algorithmisch gesteuerte Benutzerinteraktion hier Unterstützung bei der Informationsextraktion leisten kann.

2.1 Semantik beurteilen

Benutzerinteraktion kann verwendet werden, um die Parameter eines Algorithmus, wie z. B. Schwellenwerte und Vorlagen, einzustellen (oder anzupassen oder zu optimieren). Wenn diese Interaktion gut konzipiert ist, kann sie es ermöglichen, bestehende Algorithmen effektiver auf ein breiteres Spektrum von Eingaben anzuwenden.

Wir schlagen vor, noch weiter zu gehen: Das Konzept der Benutzerinteraktion soll das Design der Algorithmen von Anfang an beeinflussen. Welche Informationen kann der Algorithmus vom Benutzer erhalten, die besonders hilfreich sind? Die Zeit des Benutzers ist eine zu optimierende Ressource, die in einen Kompromiss mit der Computerlaufzeit und Lösungsqualität eingebunden ist. Dies sollte schon bei der Entwicklung des Algorithmus berücksichtigt werden.

2.2 Bereitstellung von Fachwissen

Ein (fachkundiger) Benutzer kann Domänenwissen bereitstellen, das kein Algorithmus realistischerweise haben würde.

Abbildung 1 zeigt drei mögliche Zuweisungen von Kartennamen (Labels) zu Ortssignaturen, welche ein vollautomatischer Algorithmus treffen könnte. Von Relevanz ist, dass die Bezeichnungen „Rinderfeln“ und „Neunbrunn“ nicht auf modernen Karten erscheinen. Anhand der Recherche von historischen Aufzeichnungen kann festgestellt werden, dass die Zuordnung ganz rechts richtig ist.

Es ist unklar, wie ein Algorithmus das herausfinden kann. Aber es ist leicht möglich, diese Erkenntnis einem Algorithmus zu übermitteln, der sie dann bei der Argumentation über den Rest der Karte berücksichtigen kann. Dieses Vorgehen wird in Budig et al. (2015, 2016, 2016b) beschrieben.



Abb. 1: Mehrdeutige Zuordnung von Beschriftungen (Labels) zu Ortssignaturen bei fehlendem Kontext

2.3 Qualitätssicherung

Schließlich kann das Thema Qualität auch interaktiv und adaptiv angesprochen werden. Beim Extrahieren von semantischen Informationen aus unstrukturierten Eingaben wie Rasterbildern müssen wir uns auf einen Menschen verlassen. Die Aufgabe eines Algorithmusentwicklers ist es dann, die Qualitätskontrolle zu erleichtern: Der Benutzer und der Algorithmus sollten gemeinsam effizient zu der Gewissheit gelangen, dass das Endergebnis korrekt ist.

Ein Weg, dies zu erreichen, ist die Sensitivitätsanalyse: Die Aufmerksamkeit des Benutzers wird auf jene Teile der Lösung gelenkt, die am unklarsten sind. Wenn diese geklärt

sind (und die Folgen verbreitet wurden), kann man im Idealfall von einer insgesamt korrekten Lösung ausgehen.

3 Intelligentes Crowdsourcing

Die meisten Crowdsourcing-Anwendungen beruhen auf der offensichtlichen Stärke der Crowd: der Vielzahl ihrer Mitglieder. Jedoch ist analog zur häufig anzutreffenden Ineffizienz von Brute-Force-Algorithmen auch die undifferenzierte Anwendung menschlicher Anstrengung als Verschwendung einzustufen.

Sowohl Theorie als auch Praxis eines effizienten Crowdsourcings sind dringend notwendig. Dazu gehören die Entwicklung geeigneter Effizienzkonzepte sowie der algorithmischen Techniken zu deren Optimierung. Die aufkommende Theorie der menschlich-assistierten Turingmaschinen (Shahaf 2007) ist derzeit nicht praktikabel.

Anwendungsseitig existieren viele Ad-hoc-Crowdsourcing-Projekte, die in der Praxis durchgeführt werden. Benötigt wird eine praktische Toolbox mit algorithmischen Techniken und Bewertungskriterien für effizientes Crowdsourcing. Es ist eine offene Forschungsfrage, wie Algorithmen eingesetzt werden können, um den Wert von Crowdsourcing zu steigern, indem Aufgaben intelligent ausgewählt werden und die Ergebnisse sinnvoll aggregiert werden.

Die in einem Crowdsourcing-Prozess gesammelten Rohdaten sind oft von zweifelhafter Qualität, so dass Qualitätssicherung ein zentrales Problem ist. Ein naheliegender Ansatz ist es, für jede einzelne Aufgabe mehrere Antworten zu erhalten und eine Mehrheitsentscheidung zu treffen. Dies ist möglicherweise ineffizient und außer für einfache Multiple-Choice-Fragen ist es oft nicht klar, was Mehrheitsentscheidung bedeutet. Dies führt zu interessanten algorithmischen Fragen, bei denen gute Lösungen auf der richtigen algorithmischen Modellierung des zugrundeliegenden Problems basieren müssen. So kann man analysieren, inwieweit die resultierenden Daten durch fehlende oder falsche Antworten beeinflusst werden und die Benutzer zu den Teilen der Daten leiten, in denen ihr Aufwand am effektivsten ist. Wenn Fehler abgefangen und behoben werden, können die Folgen algorithmisch propagiert werden. Dies führt zu einer algorithmischen Qualitätssicherung.

4 Zusammenfassung

In diesem Artikel haben wir eine Vision der algorithmisch gesteuerten Benutzerinteraktion beschrieben. Dies ist die Anwendung der algorithmischen Linse bei Aufgaben, die vollautomatischen Lösungen entgegenstehen. Ein zentraler Aspekt ist die explizite Berücksichtigung des menschlichen Einsatzes als zu optimierende Ressource.

Wir haben diesen Ansatz mit möglichen Anwendungen zur Informationsextraktion aus historischen Karten illustriert. Dies ist bei weitem nicht die einzige Anwendung, die auf diese Weise angesprochen werden kann. Andere GIS-Bereiche, die aufgrund von Semantik und schwer zu interpretierenden Daten mit schwierigen Problemen konfrontiert sind, sind zum Beispiel die Landnutzungserkennung und -überwachung mithilfe von Fernerkundungsdaten, räumlich-zeitliche Stimmungsanalysen (z. B. von Mikroblogs und geokodierten Fotos) und fortgeschrittene Analysen von Trajektorien (wenn die Datenmenge umfangreich ist). Letzteres berührt die visuelle Analytik, die sich bereits explizit mit der Benutzerinteraktion beschäftigt und durch die algorithmische Linse gut bedient wird.

Danksagung

Der Autor würdigt die Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Schwerpunktprogramms 1894 „Volunteered Geographic Information“ www.vgiscience.org (Projekt Di 2161/2-1).

5 Literatur

- Budig, B.; Van Dijk, T. C. (2015): Active learning for classifying template matches in historical maps. *Int. Conf. Discovery Science*. Springer: 33-47.
- Budig, B.; Van Dijk, T. C.; Feitsch, F.; Giraldo Arteaga, M. (2016): Polygon consensus: smart crowdsourcing for extracting building footprints from historical maps. *Proc. 24th ACM SIGSPATIAL Int. Conf. Advances GIS*. ACM: 66.
- Budig, B.; Van Dijk, T. C.; Wolff, A. (2016b): Matching labels and markers in historical maps: an algorithm with interactive postprocessing. *ACM Trans. Spatial Algorithms and Systems*. (TSAS) 2:4: 13.
- Chiang, Y.-Y. (2015): Querying Historical Maps as a Unified, Structured, and Linked Spatiotemporal Source. *Proc. 23rd ACM SIGSPATIAL Int. Conf. Advances GIS*. ACM: 270.
- Höhn, W.; Schmidt, H.-G.; Schöneberg, H. (2013): Semiautomatic Recognition and Georeferencing of Places in Early Maps. *Proc. 13th ACM/IEEE Joint Conf. Digital Libraries (JCDL'13)*: 335.
- Leyk, S.; Boesch, R.; Weibel, R. (2006): Saliency and semantic processing: Extracting forest cover from historical topographic maps. *Pattern Recognition* 39:5, 953.
- Shahaf, D.; Amir, E. (2007): Towards a Theory of AI Completeness. *Proc. AAAI Spring Symposium: Logical Formalizations of Commonsense Reasoning*: 150.
- Simon, R.; Barker, E.; Isaksen, L.; De Soto Cañamares, P. (2015). Linking Early Geospatial Documents, One Place at a Time: Annotation of Geographic Documents with Recogito. *e-Perimtron* 10:2: 49.