

# Seminar 1912 – Nächste-Nachbarn-Suche

Thomas Behr

29. September 2010

## Zusammenfassung

Die Suche nach den  $k$  nächsten Nachbarn zu einem Anfrageobjekt hat eine Reihe von Ausprägungen und Anwendungen. Man kann beispielsweise nach den  $k$  nächsten Nachbarn eines Objekts fragen *oder* alle Objekte bestimmen wollen, bei denen das Anfrageobjekt zu den  $k$  nächsten Nachbarn gehört.

Weiterhin bestimmt die Umgebung, in der die Suche stattfinden soll, welche Algorithmen geeignet sind. So lassen sich beispielsweise Algorithmen, die auf einer direkten (möglichen) Verbindung zwischen allen Objekten aufbauen, nicht einfach auf Netzwerke (z.B. Straßenkarten) übertragen.

Ein weiteres wichtiges Merkmal einer solchen Suche ist die Dynamik der Umgebung. So erfordern Umgebungen, in denen sich die Objekte bewegen, ganz andere Algorithmen als Umgebungen mit statischen Objekten.

Ziel des Seminars ist es, anhand von wissenschaftlichen Veröffentlichungen einen Überblick über verschiedene Methoden zu erlangen, die unterschiedliche Bereiche der Nächsten-Nachbarn-Suche bearbeiten.

## 1 Allgemeines

Das Finden der zu einem gegebenen Anfrageobjekt nächstgelegenen Nachbarn hat eine Vielzahl von Anwendungsfällen. So können bei der Auswahl einer neuen Wohnung die nächstgelegenen Schulen oder Einkaufsmöglichkeiten von Interesse sein. Bei diesem Beispiel handelt es sich ausschließlich um statische (unbewegliche) Objekte. Die Distanzen selbst werden entsprechend den verfügbaren Straßen ermittelt. Befindet sich das Anfrageobjekt in Bewegung, so müssen andere Datenstrukturen und Indexe verwendet werden, um

die Anfragen schnell beantworten zu können. Ein Beispiel stellt die Nachfrage eines fahrenden Autos zu den nächstgelegenen Tankstellen dar: Durch die Bewegung des Fahrzeugs ändert sich auch die Ergebnismenge im Laufe der Zeit. Sind neben dem Anfrageobjekt auch diejenigen Objekte in Bewegung, aus denen die nächsten Nachbarn ermittelt werden sollen, müssen wiederum andere Algorithmen angewandt werden.

Die Suche nach den  $k$  nächsten Objekten zu einem Anfrageobjekt ist jedoch nicht nur auf räumliche Nähe anwendbar. So lässt sich der Begriff der Nähe auch verallgemeinern, um nach ähnlichen Datenbankobjekten zu suchen. Man kann beispielsweise nach Bildern in einer Datenbank suchen, die einem vorgegebenen Bild ähnlich sind. Dazu werden aus einem Objekt bestimmte Eigenschaften in einem sogenannten Feature-Vektor extrahiert. Mittels dieser Vektoren werden dann die ähnlichen Objekte gesucht. Je nach Komplexität der Ausgangsobjekte sind diese Vektoren recht groß. Um trotzdem schnell ein Ergebnis liefern zu können, werden spezielle Indexe benötigt.

Ziel dieses Seminars ist es, einen Ausschnitt der verfügbaren Algorithmen zur Bestimmung der nächsten Nachbarn zu einem oder mehreren Anfrageobjekten zu beleuchten. Insbesondere werden sich bewegende Objekte behandelt. Dazu erstellt jeder Seminarteilnehmer eine Ausarbeitung zu einem der unten angesprochenen Themen. In der Präsenzphase des Seminars stellt jeder Seminarteilnehmer sein Thema in einem Vortrag dar. Jeder Präsentation folgt eine Diskussion.

Zu jedem Thema werden mehrere Publikationen angegeben, auf denen die Ausarbeitung und somit auch der Vortrag beruhen sollen. Im Allgemeinen muss weitere Literatur herangezogen werden, um Einzelheiten zu verstehen und erklären zu können.

## 2 Themen

### 2.1 Nächste-Nachbarn-Suche im Euklidischen Raum

#### 2.1.1 Thema 1: Distance Scan

Ziel des sogenannten Distance Scan ist es Objekte, die in einer Datenbank gespeichert sind, sortiert nach ihrem Abstand zu einem Anfrageobjekt auszugeben. Dabei sollte natürlich ein vollständiges Sortieren der Objekte unterbleiben. Mit welchen Mitteln dies erreicht werden kann, ist Inhalt des ersten Themas.

Das Thema basiert auf den Publikationen [HS99] und [Hen94].

### **2.1.2 Thema 2: Beschleunigte Suche**

Um die Suche nach den nächsten Nachbarn zu beschleunigen, kann man unterschiedliche Wege einschlagen. Man kann beispielsweise spezielle Anforderungen an die Daten stellen, neuartige Indexe verwenden oder neue „Pruning“-Strategien verfolgen. Genau diese drei Möglichkeiten sind Gegenstand des zweiten Seminarthemas.

Das Thema basiert auf den Publikationen [CK10], [NS06] und [Sam08].

### **2.1.3 Thema 3: Abschätzen und ungenaue Ergebnisse**

Häufig ist es notwendig, die Anzahl der Festplattenzugriffe etc. abzuschätzen, die eine nächste Nachbarn-Anfrage benötigen wird. Nur so sind beispielsweise Fortschrittschätzungen möglich.

Andererseits ist man manchmal auch bereit, für eine beschleunigte Antwort einige Fehler in Kauf zu nehmen und so nur ein teilweise korrektes Ergebnis zu erhalten.

Das Thema basiert auf den Publikationen [RKV95], [PM97] und [ABK<sup>+</sup>07].

## **2.2 Nächste-Nachbarn-Suche mit vielen Anfrageobjekten**

### **2.2.1 Thema 4: Mehrere Anfrageobjekte**

In einigen Fällen ist es notwendig, die nächsten Nachbarn zu mehreren Anfrageobjekten zu finden. Diese Art der Anfrage wird als „All  $k$  Nearest Neighbor Query“ bezeichnet. Ein naiver Ansatz würde für jedes Anfrageobjekt die  $k$  nächsten Nachbarn bestimmen, die Ergebnisse entsprechend des jeweiligen Abstandes sortieren und davon die  $k$  nächsten Ergebnisse auswählen, wobei natürlich Duplikate nur einmal vorkommen. Das ist recht aufwändig, da ggf. viele der im ersten Schritt berechneten Ergebnisse wieder verworfen werden müssen. Daher gibt es auch Techniken, die diese Suche für alle Anfrageobjekte gleichzeitig durchführen. Zwei mögliche Realisierungen dieser Art der Anfrage sind Inhalt dieses Themas.

Es basiert auf den Publikationen [EGK<sup>+</sup>10] sowie [ZMPT04].

## **2.3 Viele Dimensionen**

### **2.3.1 Thema 5: Mehrdimensionale Umgebungen**

Das Problem der Nächsten-Nachbarn-Suche ist nicht beschränkt auf Objekte im Euklidischen Raum sondern kann auch in Räumen mit vielen Dimensionen

angewandt werden. Da hier einige aus dem 2D-Raum bekannten Indexe – wie z.B. der R-Baum – schlechte Ergebnisse liefern, müssen andere Strategien verfolgt werden, um nächste Nachbarn in solchen Räumen zu finden.

Das 5. Thema des Seminars behandelt die Nächste-Nachbarn-Suche in solchen Räumen. Die Publikationen [FTAA06] und [BEK<sup>+</sup>98] bilden die Grundlage für die Ausarbeitung und den Vortrag.

### **2.3.2 Thema 6: Inverse Suche in mehrdimensionalen Umgebungen**

Das 6. Thema behandelt ebenfalls die Suche nach den nächsten Nachbarn in Räumen mit vielen Dimensionen. Im Gegensatz zum 5. Thema werden hier jedoch Inverse Nächste-Nachbarn-Suchen beleuchtet. Es liegen die Publikationen [TPL04] und [KKR<sup>+</sup>09] zugrunde.

## **2.4 Thema 7: Nächste Nachbarn in Netzwerken**

Häufig sind die Wege zwischen zwei Objekten vorgegeben. Als Beispiel können Fahrzeuge dienen, die sich auf (vorgegebenen) Straßen bewegen müssen. Die möglichen Wege werden durch einen Graphen (Netzwerk) dargestellt. Das 7. Seminarthema behandelt die Suche nach den nächsten Nachbarn in solchen Netzwerken. Als Basisliteratur dienen hier [KS04] und [TTS09].

## **2.5 Nächste-Nachbarn-Suche in dynamischen Umgebungen**

Durch die Möglichkeiten via GPS die eigene Position zu bestimmen, sind neue Herausforderungen zu meistern. Prinzipiell kann zwischen zwei Darstellungsarten für bewegliche Objekte unterschieden werden.

Der erste Ansatz [SWCD97] befasst sich mit der Speicherung der aktuellen Position sowie der künftig erwarteten Position. Zu diesem Zweck wird zu einem bestimmten Zeitpunkt die aktuelle Position eines Objekts sowie ein sogenannter Bewegungsvektor (bestehend aus Richtungs- und Geschwindigkeitsinformation) gespeichert. Durch diesen Vektor können auch Positionen jenseits des Update-Zeitpunktes berechnet werden. Ändert das Objekt seine Richtung oder Geschwindigkeit, so stimmen die aktuelle Position und die berechnete Position nicht mehr überein. Überschreitet die Abweichung einen Schwellwert, so wird ein Update an die Datenbank gesendet.

Die zweite Möglichkeit der Darstellung sich bewegender Objekte ist die Speicherung der gesamten Historie der Bewegung [GBE<sup>+</sup>00]. Dazu wird die aktuelle Position eines Objekts als Funktion der Zeit festgelegt. Um die Darstellung innerhalb von Datenbanken zu ermöglichen wird diese Funktion in

Zeitscheiben unterteilt, innerhalb derer eine einfache parametrisierbare Funktion verwendet wird, um die originale Bewegung anzunähern. Für bewegte Punkte wird beispielsweise eine lineare Funktion verwendet.

Durch die Bewegung der Objekte verändert sich das Ergebnis einer nächsten Nachbarn Anfrage ebenfalls mit der Zeit. Es ist offensichtlich, dass die Techniken der Nächsten-Nachbarn-Suche für statische Daten hier keine Verwendung finden können.

### **2.5.1 Thema 8: Bewegter Anfragepunkt**

Das 8. Seminarthema behandelt Anfragen, bei denen sich das Anfrageobjekt selbst bewegt. Dabei werden aktuelle und zukünftig geschätzte Positionen betrachtet. Als Basisliteratur dienen [JG07] und [SR01].

### **2.5.2 Themen 9 – 12:Anfragepunkt und Anfragemenge beweglich**

Bewegt sich nicht ausschließlich der Anfragepunkt, sondern auch die Punkte in der Menge, in der die  $k$  nächsten Nachbarn gesucht werden sollen, müssen wiederum andere Techniken verwendet werden, um schnell Ergebnisse zu erhalten. Aufgrund einer Vielzahl an Veröffentlichungen in diesem Bereich, wird dieses Thema im Zuge des Seminars mehrfach vergeben. Somit ergeben sich:

- Thema 9, basierend auf [RPM03] und [LLZS05],
- Thema 10, basierend auf [ISS03] und [BJKS06],
- Thema 11, basierend auf [MHP05] und [YPK05],
- Thema 12, basierend auf [HCL09a], [FWZ<sup>+</sup>07] und [XZ06].

### **2.5.3 Thema 13: Historische Daten**

Ist der gesamte Bewegungsablauf aller beteiligten bewegten Objekte im Voraus bekannt, so kann man verschiedene statische Indexe verwenden, um die Suche effizient durchzuführen. Verschiedene Möglichkeiten werden in diesem Thema angesprochen. Dem 13. Thema des Seminars liegen [FGPT05], [GBX10] und [GLC<sup>+</sup>07] als Basisliteratur zugrunde.

## **2.6 Thema 14: Bewegte Objekte in Netzwerken**

Die Verbindung von Netzwerken und Verbindungen soll in diesem Thema behandelt werden. Als Basisliteratur dienen [HCL09b], [YDL09] und [JKPT03].

### 3 Themenauswahl

Bitte senden Sie bis zum 10.10.2010 eine Liste mit Ihren Prioritäten für die einzelnen Themen an **thomas.behr@fernuni-hagen.de**. Die Liste sollte 14 Einträge enthalten. Vergeben Sie Priorität 1 für das Thema, welches Sie am liebsten bearbeiten möchten. Markieren Sie das Thema, welches Sie auf keinen Fall bearbeiten möchten mit Priorität 14. Dazwischenliegende Werte werden entsprechend bewertet.

Ich werde die Themen so verteilen, dass Ihre Prioritäten weitestgehend Berücksichtigung finden.

### Literatur

- [ABK<sup>+</sup>07] ACHTERT, Elke ; BÖHM, Christian ; KRÖGER, Peer ; KUNATH, Peter ; PRYAKHIN, Alexey ; RENZ, Matthias: Efficient Reverse k-Nearest Neighbor Estimation. In: KEMPER, Alfons (Hrsg.) ; SCHÖNING, Harald (Hrsg.) ; ROSE, Thomas (Hrsg.) ; JARKE, Matthias (Hrsg.) ; SEIDL, Thomas (Hrsg.) ; QUIX, Christoph (Hrsg.) ; BROCHHAUS, Christoph (Hrsg.): *BTW* Bd. 103, GI, 2007 (LNI). – ISBN 978-3-88579-197-3, S. 344-363
- [BEK<sup>+</sup>98] BERCHTOLD, Stefan ; ERTL, Bernhard ; KEIM, Daniel A. ; KRIEGER, Hans-Peter ; SEIDL, Thomas: Fast Nearest Neighbor Search in High-Dimensional Space. In: *ICDE*, IEEE Computer Society, 1998. – ISBN 0-8186-8289-2, S. 209-218
- [BJKS06] BENETIS, Rimantas ; JENSEN, Christian S. ; KARCIAUSKAS, Gytis ; SALTENIS, Simonas: Nearest and reverse nearest neighbor queries for moving objects. In: *VLDB J.* 15 (2006), Nr. 3, S. 229-249
- [CK10] CONNOR, Michael ; KUMAR, Piyush: Practical Nearest Neighbor Search in the Plane. In: FESTA, Paola (Hrsg.): *SEA* Bd. 6049, Springer, 2010 (Lecture Notes in Computer Science). – ISBN 978-3-642-13192-9, S. 501-512
- [DL<sup>+</sup>07] DONG, Guozhu (Hrsg.) ; LIN, Xuemin (Hrsg.) ; 0011, Wei W. (Hrsg.) ; YANG, Yun (Hrsg.) ; YU, Jeffrey X. (Hrsg.): *Advances in Data and Web Management, Joint 9th Asia-Pacific Web Conference, APWeb 2007, and 8th International Conference, on Web-Age Information Management, WAIM 2007, Huang Shan, China, June 16-18, 2007, Proceedings*. Bd. 4505. Springer, 2007

(Lecture Notes in Computer Science). – ISBN 978-3-540-72483-4

- [EGK<sup>+</sup>10] EMRICH, Tobias ; GRAF, Franz ; KRIEGEL, Hans-Peter ; SCHUBERT, Matthias ; THOMA, Marisa: Optimizing All-Nearest-Neighbor Queries with Trigonometric Pruning. In: GERTZ, Michael (Hrsg.) ; LUDÄSCHER, Bertram (Hrsg.): *SSDBM* Bd. 6187, Springer, 2010 (Lecture Notes in Computer Science). – ISBN 978-3-642-13817-1, S. 501–518
- [FGPT05] FRENTZOS, Elias ; GRATSIAS, Kostas ; PELEKIS, Nikos ; THEODORIDIS, Yannis: Nearest Neighbor Search on Moving Object Trajectories. In: MEDEIROS, Claudia B. (Hrsg.) ; EGENHOFER, Max J. (Hrsg.) ; BERTINO, Elisa (Hrsg.): *SSTD* Bd. 3633, Springer, 2005 (Lecture Notes in Computer Science). – ISBN 3-540-28127-4, S. 328–345
- [FTAA06] FERHATOSMANOGLU, Hakan ; TUNCEL, Ertem ; AGRAWAL, Divyakant ; ABBADI, Amr E.: High dimensional nearest neighbor searching. In: *Inf. Syst.* 31 (2006), Nr. 6, S. 512–540
- [FWZ<sup>+</sup>07] FENG, Jun ; WU, Linyan ; ZHU, Yuelong ; MUKAI, Naoto ; WATANABE, Toyohide: Continuous k-Nearest Neighbor Search Under Mobile Environment. In: [DL<sup>+</sup>07], S. 566–573
- [GBE<sup>+</sup>00] GÜTING, Ralf H. ; BÖHLEN, Michael H. ; ERWIG, Martin ; JENSEN, Christian S. ; LORENTZOS, Nikos A. ; SCHNEIDER, Markus ; VAZIRGIANNIS, Michalis: A foundation for representing and querying moving objects. In: *ACM Trans. Database Syst.* 25 (2000), Nr. 1, S. 1–42
- [GBX10] GÜTING, Ralf H. ; BEHR, Thomas ; XU, Jianqiu: Efficient k-nearest neighbor search on moving object trajectories. In: *VLDB Journal (to appear)* (2010)
- [GLC<sup>+</sup>07] GAO, Yunjun ; LI, Chun ; CHEN, Gencai ; LI, Qing ; CHEN, Chun: Efficient Algorithms for Historical Continuous NN Query Processing over Moving Object Trajectories. In: [DL<sup>+</sup>07], S. 188–199
- [HCL09a] HUANG, Yuan-Ko ; CHEN, Chao-Chun ; LEE, Chiang: Continuous -Nearest Neighbor Query for Moving Objects with Uncertain Velocity. In: *GeoInformatica* 13 (2009), Nr. 1, S. 1–25

- [HCL09b] HUANG, Yuan-Ko ; CHEN, Zhi-Wei ; LEE, Chiang: Continuous K-Nearest Neighbor Query over Moving Objects in Road Networks. In: LI, Qing (Hrsg.) ; FENG, Ling (Hrsg.) ; PEI, Jian (Hrsg.) ; WANG, Xiaoyang S. (Hrsg.) ; ZHOU, Xiaofang (Hrsg.) ; ZHU, Qiao-Ming (Hrsg.): *APWeb/WAIM* Bd. 5446, Springer, 2009 (Lecture Notes in Computer Science). – ISBN 978-3-642-00671-5, S. 27–38
- [Hen94] HENRICH, Andreas: A Distance Scan Algorithm for Spatial Access Structures. In: *ACM-GIS*, 1994, S. 136–143
- [HS99] HJALTASON, Gísli R. ; SAMET, Hanan: Distance Browsing in Spatial Databases. In: *ACM Trans. Database Syst.* 24 (1999), Nr. 2, S. 265–318
- [ISS03] IWERKS, Glenn S. ; SAMET, Hanan ; SMITH, Kenneth P.: Continuous K-Nearest Neighbor Queries for Continuously Moving Points with Updates. In: *VLDB*, 2003, S. 512–523
- [JG07] JIN, Cheqing ; GUO, Weibin: Efficiently Monitoring Nearest Neighbors to a Moving Object. In: ALHAJJ, Reda (Hrsg.) ; GAO, Hong (Hrsg.) ; LI, Xue (Hrsg.) ; LI, Jianzhong (Hrsg.) ; ZAIANE, Osmar R. (Hrsg.): *ADMA* Bd. 4632, Springer, 2007 (Lecture Notes in Computer Science). – ISBN 978-3-540-73870-1, S. 239–251
- [JKPT03] JENSEN, Christian S. ; KOLÁRVR, Jan ; PEDERSEN, Torben B. ; TIMKO, Igor: Nearest neighbor queries in road networks. In: *GIS*, ACM, 2003, S. 1–8
- [KKR<sup>+</sup>09] KRIEGEL, Hans-Peter ; KRÖGER, Peer ; RENZ, Matthias ; ZÜFLE, Andreas ; KATZDOBLER, Alexander: Reverse k-Nearest Neighbor Search Based on Aggregate Point Access Methods. In: WINSLETT, Marianne (Hrsg.): *SSDBM* Bd. 5566, Springer, 2009 (Lecture Notes in Computer Science). – ISBN 978-3-642-02278-4, S. 444–460
- [KS04] KOLAHDOUZAN, Mohammad R. ; SHAHABI, Cyrus: Voronoi-Based K Nearest Neighbor Search for Spatial Network Databases. In: [NÖK<sup>+</sup>04], S. 840–851
- [LLZS05] LEE, Ken C. K. ; LEONG, Hong V. ; ZHOU, Jing ; SI, Antonio: An efficient algorithm for predictive continuous nearest neighbor query processing and result maintenance. In: CHRYSANTHIS,



- Panos K. (Hrsg.) ; SAMARAS, George (Hrsg.): *Mobile Data Management*, ACM, 2005. – ISBN 1–59593–041–8, S. 178–182
- [MHP05] MOURATIDIS, Kyriakos ; HADJIELEFThERIOU, Marios ; PAPA-DIAS, Dimitris: Conceptual Partitioning: An Efficient Method for Continuous Nearest Neighbor Monitoring. In: ÖZCAN, Fatma (Hrsg.): *SIGMOD Conference*, ACM, 2005. – ISBN 1–59593–060–4, S. 634–645
- [NÖK<sup>+</sup>04] NASCIMENTO, Mario A. (Hrsg.) ; ÖZSU, M. T. (Hrsg.) ; KOSS-MANN, Donald (Hrsg.) ; MILLER, Renée J. (Hrsg.) ; BLAKELEY, José A. (Hrsg.) ; SCHIEFER, K. B. (Hrsg.): *(e)Proceedings of the Thirtieth International Conference on Very Large Data Bases, Toronto, Canada, August 31 - September 3 2004*. Morgan Kaufmann, 2004 . – ISBN 0–12–088469–0
- [NS06] NAJJAR, Faïza ; SLIMANI, Hassenet: The N-tree: an Indexing Technique for Nearest-Neighbor Queries. In: *AICCSA*, IEEE, 2006, S. 460–467
- [PM97] PAPADOPOULOS, Apostolos ; MANOLOPOULOS, Yannis: Performance of Nearest Neighbor Queries in R-Trees. In: AFRATI, Fotio N. (Hrsg.) ; KOLAÏTIS, Phokion G. (Hrsg.): *ICDT Bd. 1186*, Springer, 1997 (Lecture Notes in Computer Science). – ISBN 3–540–62222–5, S. 394–408
- [RKV95] ROUSSOPOULOS, Nick ; KELLEY, Stephen ; VINCENT, Frédéric: Nearest Neighbor Queries. In: CAREY, Michael J. (Hrsg.) ; SCHNEIDER, Donovan A. (Hrsg.): *SIGMOD Conference*, ACM Press, 1995, S. 71–79
- [RPM03] RAPTOPOULOU, Katerina ; PAPADOPOULOS, Apostolos ; MANOLOPOULOS, Yannis: Fast Nearest-Neighbor Query Processing in Moving-Object Databases. In: *GeoInformatica 7* (2003), Nr. 2, S. 113–137
- [Sam08] SAMET, Hanan: K-Nearest Neighbor Finding Using MaxNearest-Dist. In: *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 30 (2008), Nr. 2, S. 243–252
- [SR01] SONG, Zhexuan ; ROUSSOPOULOS, Nick: K-Nearest Neighbor Search for Moving Query Point. In: JENSEN, Christian S. (Hrsg.) ; SCHNEIDER, Markus (Hrsg.) ; SEEGER, Bernhard (Hrsg.) ;

- TSOTRAS, Vassilis J. (Hrsg.): *SSTD* Bd. 2121, Springer, 2001 (Lecture Notes in Computer Science). – ISBN 3-540-42301-X, S. 79–96
- [SWCD97] SISTLA, A. P. ; WOLFSON, Ouri ; CHAMBERLAIN, Sam ; DAO, Son: Modeling and Querying Moving Objects. In: GRAY, W. A. (Hrsg.) ; LARSON, Per-Åke (Hrsg.): *ICDE*, IEEE Computer Society, 1997. – ISBN 0-8186-7807-0, S. 422–432
- [TPL04] TAO, Yufei ; PAPADIAS, Dimitris ; LIAN, Xiang: Reverse kNN Search in Arbitrary Dimensionality. In: [NÖK<sup>+</sup>04], S. 744–755
- [TTS09] TRAN, Quoc T. ; TANIAR, David ; SAFAR, Maytham: Reverse k Nearest Neighbor and Reverse Farthest Neighbor Search on Spatial Networks. In: *T. Large-Scale Data- and Knowledge-Centered Systems* 1 (2009), S. 353–372. ISBN 978-3-642-03721-4
- [XZ06] XIA, Tian ; ZHANG, Donghui: Continuous Reverse Nearest Neighbor Monitoring. In: LIU, Ling (Hrsg.) ; REUTER, Andreas (Hrsg.) ; WHANG, Kyu-Young (Hrsg.) ; ZHANG, Jianjun (Hrsg.): *ICDE*, IEEE Computer Society, 2006, S. 77
- [YDL09] YIN, Xiaolan ; DING, Zhiming ; LI, Jing: Moving Continuous K Nearest Neighbor Queries in Spatial Network Databases. In: BURGIN, Mark (Hrsg.) ; CHOWDHURY, Masud H. (Hrsg.) ; HAM, Chan H. (Hrsg.) ; LUDWIG, Simone A. (Hrsg.) ; SU, Weilian (Hrsg.) ; YENDURI, Sumanth (Hrsg.): *CSIE (4)*, IEEE Computer Society, 2009. – ISBN 978-0-7695-3507-4, S. 535–541
- [YPK05] YU, Xiaohui ; PU, Ken Q. ; KOUDAS, Nick: Monitoring K-Nearest Neighbor Queries Over Moving Objects. In: *ICDE*, IEEE Computer Society, 2005. – ISBN 0-7695-2285-8, S. 631–642
- [ZMPT04] ZHANG, Jun ; MAMOULIS, Nikos ; PAPADIAS, Dimitris ; TAO, Yufei: All-Nearest-Neighbors Queries in Spatial Databases. In: *SSDBM*, IEEE Computer Society, 2004. – ISBN 0-7695-2146-0, S. 297–306