

## Locatiebepaling binnen gebouwen op basis van spectrale graafanalyse

Bot, Fanny; Verbree, Edward; Nourian, Pirouz

**Publication date**

2019

**Document Version**

Final published version

**Published in**

Geo-Info

**Citation (APA)**

Bot, F., Verbree, E., & Nourian, P. (2019). Locatiebepaling binnen gebouwen op basis van spectrale graafanalyse. *Geo-Info*, 16(3), 32-34.

**Important note**

To cite this publication, please use the final published version (if applicable).  
Please check the document version above.

**Copyright**

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

**Takedown policy**

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.  
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Locatiebepaling binnen gebouwen op basis van spectrale graaf

Al kennen we in Nederland een rijke kartografische en topografische geschiedenis, het publiek domein binnen gebouwen blijft een terra incognita: een grote verzameling witte vlekken. In het bijzonder voor mobiele applicaties is er nog geen weg gevonden naar automatisch werkende navigatiesystemen en het type kaart dat daaraan ten grondslag zou moeten liggen. De puzzelstukjes die samen een werkend indoor navigatiesysteem zouden kunnen vormen, worden steeds verder ontwikkeld - wat steeds meer mogelijkheden biedt om oplossingen te ontwerpen, te ontwikkelen en te testen.

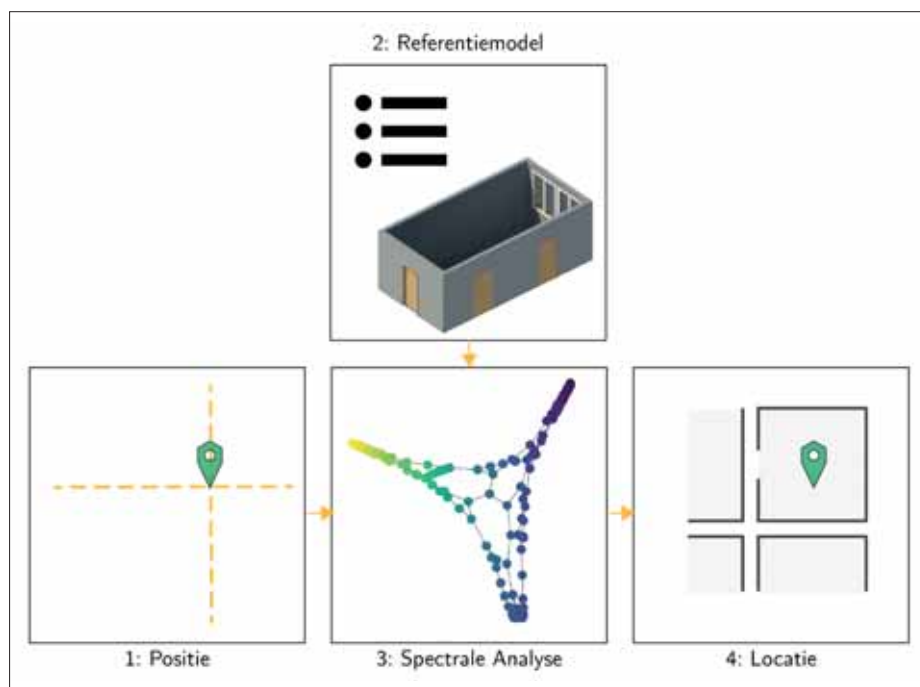
**Door Fanny Bot, Edward Verbree en Pirouz Nourian**

Als je buiten bent met een smartphone, is het geen probleem te bepalen waar je bent. De geïntegreerde sensoren bepalen je positie en richting, die vervolgens worden geprojecteerd op een betekenisvolle achtergrondkaart. Aangezien de positie en de referentiekaart verbonden zijn met hetzelfde coördinatensysteem, is dit een ideale gemeenschappelijke referentie om de huidige positie van het apparaat te verbinden met de referentiekaart. Zo kan de betekenisvolle informatie achter de referentiekaart verbonden worden aan je huidige positie, zodat je up-to-date locatie-informatie en navigatieaanwijzingen krijgt. Zodra je echter een gebouw binnenloopt, werkt de GNSS-ontvanger (die de positie berekent) niet meer naar behoren. Ook staat de indeling van het gebouw (vaak) niet op de achtergrondkaarten en is er geen routenetwerk beschikbaar. Toch is er een overvloed aan applicaties te bedenken die ontwikkeld zouden kunnen worden op basis van een realtime lokalisatie binnen openbare gebouwen.

## Indoor lokalisatie

Het ontwerpen van een soortgelijk mechanisme voor binnen blijkt een stuk lastiger dan dat voor

buiten, aangezien de complexiteit en grootte van veel openbare gebouwen uitgebreider opgezette systemen vereist [1][2][3]. Het proces kan niet 1 op 1 vertaald worden, maar vereist een herontwerp van ieder component. Wat gelijk blijft, is de conceptuele basis van het vinden van een locatie: bepaal de positie van een gebruiker relatief aan een betekenisvol referentiemodel van de fysieke omgeving, welke van tevoren of simultaan gevormd wordt [4][2]. In andere woorden: de context van een binnenruimte moet begrijpelijk gemaakt worden, zodat een gevonden positie getransformeerd kan worden naar een locatie. Een dergelijke context is nodig om de vertaalslag te maken van de berekende positie naar een betekenisvolle locatie. Het vinden van een positie omvat het vinden van de coördinaten van een punt of gebied waar een persoon of object zich bevindt [5][3], vaak relatief ten opzichte van een lokaal systeem. Deze kwantitatieve bepaling volstaat als input voor navigatie applicaties. Echter, voordat een gebruiker een referentie naar de plaats waar hij is kan begrijpen, is een kwalitatieve locatie-beschrijving vereist. Op basis van verbonden semantiek kan de gebruiker zichzelf ook lokaliseren. Hoewel zowel positie als locatie als basis



Figuur 1 - Systeemontwerp voor indoor lokalisatie: Combineer een positie en een referentiemodel met behulp van spectrale graaf analyse.

# bouwen fanalyse



Figuur 2 - Positioneren als het vinden van coördinaten, lokaliseren als het vinden van een betekenisvolle plaats en navigeren als het bewegen naar een vastgesteld doel.

voor navigatie kan dienen, is het de locatie-informatie die een gebruiker in staat stelt een weloverwogen beslissing te maken voor het vastleggen van een nieuw navigatiedoel.

## Stap 1: indoor positioneren

Voor het vinden van een positie in de binnenruimte is een breed scala aan systemen ontworpen [3]. Vele hiervan zijn afhankelijk van een netwerk wat speciaal hiervoor aangebracht moet worden binnen een gebouw. Om indoor positionering eenvoudig toegankelijk te maken voor iedere mogelijke gebruiker moet het kunnen functioneren op een smartphone, op basis van aanwezige systemen. Een veelbelovend systeem als onderligger voor indoor applicaties is Simultane Lokalisatie en Mapping (SLAM), ontwikkeld in de mobiele robotica [4][6]. SLAM bepaalt de positie van een apparaat relatief aan een model van de directe omgeving, die gelijk met de positie wordt berekend en opgeslagen. Door deze omgeving vast te leggen - op basis van de input uit zoveel mogelijk verschillende sensoren die in het mobiele apparaat geïntegreerd zijn - kan in beweging de huidige positie constant op betrouwbare wijze worden geüpdatet. Het model wat dan van de binnenruimte gemaakt is, kan worden opgeslagen als mesh-model, waarin de reeks aan betreden posities ook is opgeslagen. Het is in deze context belangrijk te melden dat de correcte afkoring voor deze methode SPAM (dus: positioneren) zou moeten zijn. Het toekennen van betekenisvolle informatie (dus: locatie) wordt pas hierna gemaakt.

## Stap 2: referentiemodel

Vervolgens moet er een referentiemodel gedefinieerd worden, die context geeft aan

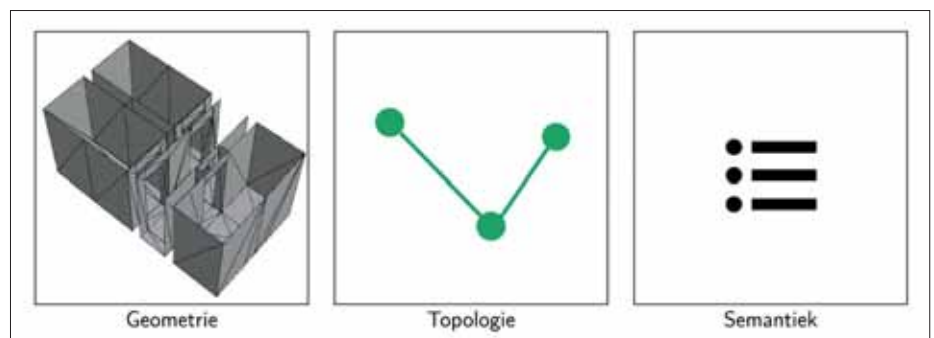
de bepaalde positie. Een verrijkende context is te zien als de structuur die beschrijft hoe data worden ingewonnen, opgeslagen, geïnterpreteerd en gebruikt [7]. Hoe deze betekenisvolle context beschreven wordt, is afhankelijk van de definitie van binnenruimte waar vanuit gedacht wordt. Aangezien deze een verbinding tussen de kwantitatieve positie en kwalitatieve locatie moet vormen, moet de definitie zowel de wetenschappelijke als de conceptuele complexiteit van de binnenruimte kunnen omvatten. Deze kan omvat worden in geometrie, topologie en semantiek [8]. De geometrische plaats kan worden gemodelleerd als positie coördinaten in euclidische ruimte. Een topologische structuur kan gebruikt worden om verbindingen en grenzen tussen onderliggende delen vast te leggen in een graaf. De 'semantische' functie van ieder element kan vervolgens worden toegevoegd als set aan attributen.

Met het SLAM-proces is een model van de binnenruimte gevormd - deze bevat alleen

geometrie en topologie. De semantiek moet dus opgehaald worden uit een referentiemodel die hieraan te verbinden is. Een Bouw Informatie Model (BIM) wordt algemeen geaccepteerd als een solide manier om de binnenruimte te representeren. Het model omvat de mogelijkheid om geometrie, topologie en semantiek op te slaan en om aanvullende informatie aan de losse elementen toe te kennen [8][6].

## Stap 3: transformatie

Op basis van een positie relatief aan de binnenruimte en een semantisch correct referentiemodel kan de gevonden positie worden getransformeerd naar een locatie. Dit betekent dat er een gemeenschappelijke referentie gevonden moet worden die het verband kan leggen tussen enerzijds het mesh-model dat met het SLAM-proces gevormd is, en anderzijds het BIM-referentiemodel. Dit kan door de onderliggende topologische structuur uit beide modellen te halen. Door een conceptuele graaf te vormen uit beide modellen, kan een knooppunt uit de graaf dienen als referentiepunt. Door de vorming van deze graaf te baseren op hetzelfde concept, kunnen geometrisch gezien volledig verschillende modellen toch zeer overeenstemmende grafen gehaald worden. Dit is vergelijkbaar met het idee dat een metronetwerk getekend kan worden op basis een moderne digitale kaart, maar ook op basis van een historische plattegrond. De vorm en notitiewijze van beide achtergrondkaarten zal anders zijn, maar het resulterende netwerk (nagenoeg) hetzelfde. Het proces in figuur 1 geeft weer hoe in een ontwikkelde 'proof of concept' kamers



Figuur 3 - De drie structuren die samen de binnenruimte volledig kunnen representeren: Geometrie, Topologie en Semantiek.

uit beide modellen worden geëxtraheerd. De resulterende grafen worden op basis van hun spectrale gegevens geanalyseerd [9][10] en eventueel versimpeld. Een spectrale graafanalyse is qua principe zeer vergelijkbaar met een spectrale analyse van licht. Hierbij wordt een lichtstraal uit elkaar getrokken in afzonderlijke kleurkanalen, zodat van ieder kanaal de eigenfrequentie bepaald en geanalyseerd kan worden. Het spectrum van een graaf is de reeks van eigenvectoren en eigenwaarden die horen bij een specifieke matrixoperator, bijvoorbeeld de Laplacianse (ter ere van de Franse wiskundige Pierre-Simon Laplace) - of de Kirchhoff-matrix (ter ere van de Pruisisch wiskundige Gustav Robert Kirchhoff). Met behulp van het spectrum kunnen grafen van verschillende vormen worden gezien in hetzelfde licht. Dan kan geconcludeerd worden dat twee grafen met een sterk vergelijkbaar spectrum waarschijnlijk zelf ook vergelijkbaar zijn. Met andere woorden: graafspectra kunnen worden gebruikt om systematisch te onderzoeken in hoeverre grafen vergelijkbaar zijn [11]. Door deze vergelijking wiskundig uit te voeren, kan automatisch een match gevonden worden.

#### Stap 4: lokaliseren

Als er een match is gevonden in de grafen die uit de twee verschillende input modellen zijn gehaald, kan op basis hiervan de locatie van de gebruiker worden bepaald. De positie die met het SLAM-proces gevonden is, is relatief aan

de mesh opgeslagen. Dit betekent dat deze kan worden gerelateerd aan de kamer in het mesh-model, en daarmee aan het knooppunt dat deze kamer representeert. Door de koppeling tussen beide grafen is dan ook bekend bij welk BIM-knooppunt deze positie zich bevindt. Dit laatste knooppunt verwijst weer naar een kamer in het BIM-model, die verbonden is met de bijbehorende semantische informatie. Zo is een link gelegd tussen de berekende positie en de contextuele informatie, die samen een locatiebeschrijving vormen.

#### Referenties

- [1] Kruminaitė, M., & Zlatanova, S. (2014). Indoor space subdivision for indoor navigation. *Proceedings of the Sixth ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness*, 25–31. doi.org/10.1145/2676528.2676529
- [2] Lemmens, M. J. P. M. (2013). Indoor Positioning. *GIM International*, (October), 5. Retrieved from www.gim-international.com/content/article/indoor-positioning-2
- [3] Mautz, R. (2012). *Indoor Positioning Technologies*. ETH Zurich, Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering. doi.org/10.3929/ethz-a-007313554
- [4] Fuentes-Pacheco, J., Ruiz-Ascencio, J., & Rendón-Mancha, J. M. (2012). Visual simultaneous localization and mapping: a survey. *Artificial Intelligence Review*, 43(1), 55–81. doi.org/10.1007/s10462-012-9365-8
- [5] Groves, P. D. (2013). *Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems* (2nd ed.). Artech House.
- [6] Zlatanova, S., Liu, L., & Sithole, G. (2013). A conceptual framework of space subdivision for indoor navigation. *Proceedings of the 5th ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness, ISA 2013*, 37–41. doi.org/10.1145/2533810.2533819
- [7] Worboys, M. F., & Duckham, M. (2004). *GIS: A Computing Perspective*. CRC press. doi.org/10.1017/S0016756800007718

- [8] Isikdag, U., Zlatanova, S., & Underwood, J. (2013). A BIM-Oriented Model for supporting indoor navigation requirements. *Computers, Environment and Urban Systems*, 41, 112–123. doi.org/10.1016/j.compenvurbysys.2013.05.001
- [9] Nourian, P. (2018). On Topology and Topological Data Models in Geometric Modeling of Space, (May). doi.org/10.13140/RG.2.2.16572.74888
- [10] Spielman, D. A. (2007). Spectral Graph Theory and its Applications. *48th Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science (FOCS'07)*, (1), 29–38. doi.org/10.1109/FOCS.2007.56
- [11] Conte, D., Foggia, P., Sansone, C., & Vento, M. (2004). Thirty Years of Graph Matching in Pattern Recognition. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 18(03), 265–298. doi.org/10.1142/S0218001404003228



Fanny Bot is recent afgestudeerd aan de TU Delft op het beschreven onderwerp. Zij is bereikbaar via [fanny.bot@sweco.nl](mailto:fanny.bot@sweco.nl).



Edward Verbree is universitair docent Geomatics aan de TU Delft. Hij is bereikbaar via [e.verbree@tudelft.nl](mailto:e.verbree@tudelft.nl).



Pirouz Nourian is universitair docent Technisch Ontwerp en Informatica aan de TU Delft. Hij is bereikbaar via [p.nourian@tudelft.nl](mailto:p.nourian@tudelft.nl).

## 1919: Annexatieplannen van België

Na WO I eiste het verwoeste België als compensatie delen van buurlanden op.

Het Belgische Comité voor Nationale Politiek drukte honderd jaar geleden deze kaart met de annexatieplannen van Zeeuws-Vlaanderen, Limburg en Luxemburg.

Er was in Nederland verzet tegen het idee, al waren er ook 'politieke woelwaters', soms landverraders geheten.

Op 18 juni 1919 werd in Versailles besloten dat het neutrale Nederland niets hoefde af te staan.

België kreeg wel het befaamde Duitse grensstadje Eupen ...

[www.ssew.nl/nederland-vrede-versailles](http://www.ssew.nl/nederland-vrede-versailles)

