

Mapy dla pojazdów autonomicznych – implikacje dla teorii i praktyki kartograficznej

Dariusz Gotlib , Georg Gartner, Krzysztof Miksa

Warsaw University of Technology
Vienna University of Technology
Stellantis N.V.

WUT



STELLANTIS

Pierwotne publikacje



International Cartographic Association
Association Cartographique Internationale

The Impact of HD Maps for Autonomous Vehicles on the Evolution of Cartography

Gotlib Dariusz ^{a,*}, Georg Gartner ^b, Krzysztof Miksa ^c

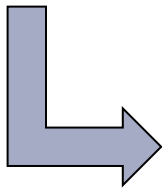
^a *Warsaw University of Technology, Faculty of Geodesy and Cartography, dariusz.gotlib@pw.edu.pl*

^b *Vienna University of Technology, Department of Geodesy and Geoinformation, georg.gartner@tuwien.ac.at*

^c *Stellantis, Mapping & (Geo)Localisation Department, krzys.miksa@gmail.com*

* Corresponding author

Keywords: HD Maps, high definition map, map definition



International Journal of
Geo-Information

an Open Access Journal Published by MDPI

HD Maps for Autonomous Vehicles: Implications for Cartographic Theory and Practice

Dariusz Gotlib; Georg Gartner; Krzysztof Miksa

ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2026, Volume 15, Issue 2, 68

ICC 2025,
Vancouver, Canada



WUT



STELLANTIS

Motywacja?

- Rosnący rynek map dla samochodów autonomicznych

Source	2024 Market Size (USD B)	Forecast Year	Forecasted Size (USD B)
Future Business Insights	2.4	2032	20.1
Verified Market Reports	2.5	2033	10.1
Straits Research	2.5	2033	17.4
Market Research Future	5.8	2034	34.0

Average Estimated HD Maps Market Size in 2033: USD 20 Billion ?

- Na ten temat powstało zaledwie kilka artykułów naukowych z dziedziny kartografii (!)
- Czy kartografowie powinni bardziej zagłębić się w tę tematykę?
- Czy ten temat jest kluczowy dla rozwoju kartografii?



Wstęp

- W 2010 roku podczas warsztatów badawczo-planistycznych Mercedes-Benz narodziła się koncepcja „mapy wysokiej rozdzielczości”, która zaowocowała projektem Bertha Drive (Herrtwich, 2018)
- W 2013 roku, w wyniku realizacji tego projektu, zautomatyzowany Mercedes-Benz klasy S 500 pokonał w trybie w pełni autonomicznym trasę o długości 103 km, korzystając z bardzo dokładnej i szczegółowej mapy trójwymiarowej (3D), nazwanej mapą o wysokiej rozdzielczości (Ziegler et al., 2014). Mapy HD były realizowane we współpracy z HERE.
- W przeciwieństwie do poprzednich map cyfrowych ta mapa zawierała nowe funkcje służące do lokalizacji i postrzegania otoczenia przez pojazd.

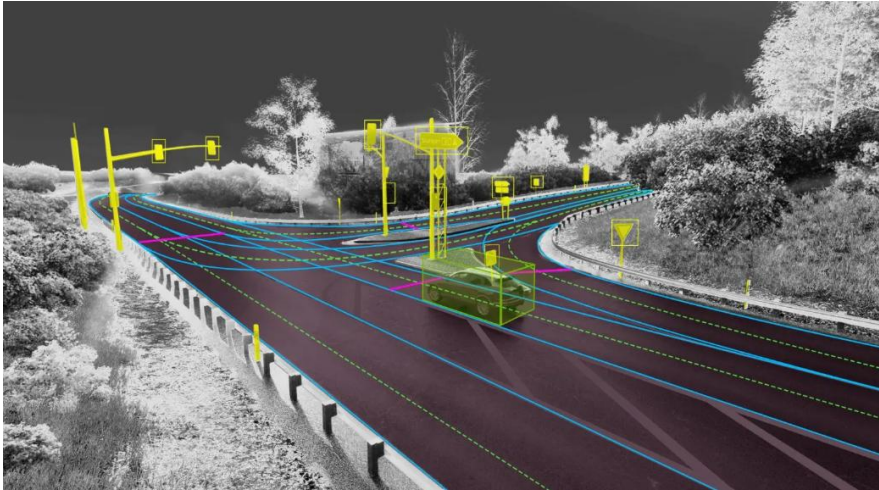


Mapy SD, MD/SD+, HD

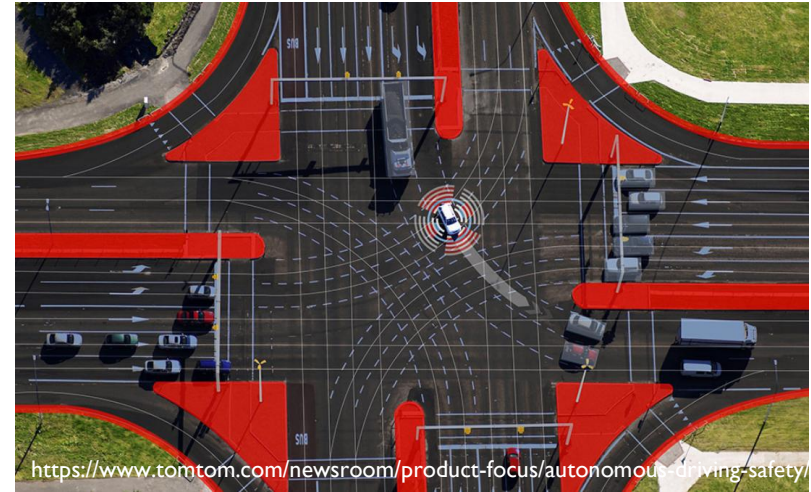
- Producenci map przeznaczonych dla pojazdów autonomicznych odróżniają Digital Maps, Enhanced Digital Maps, **High Definition Maps** (Elghazaly et al., 2023)
- Można spotkać różne podejścia, nazwy, oznaczenia np.:
SD, MD/SD+, HD lub HD, XD (Sparse HD), SD+ (ulepszone), SD
- Mapy HD to bardzo szczegółowe cyfrowe odwzorowania otoczenia drogowego, zaprojektowane przede wszystkim z myślą o pojazdach autonomicznych i zaawansowanych systemach wspomagania kierowcy (ADAS)



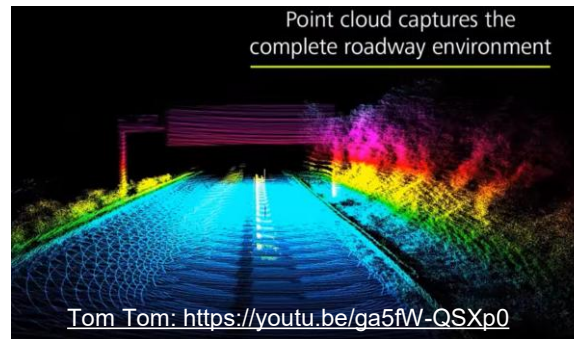
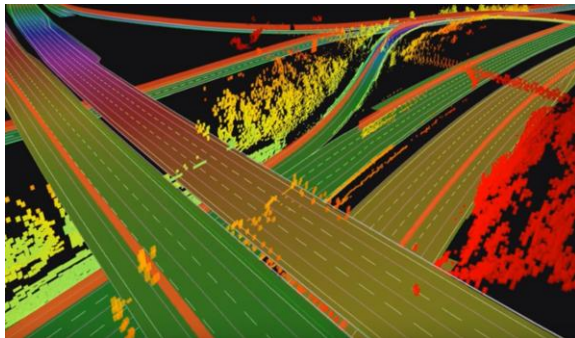
Mapy SD, MD/SD+, HD



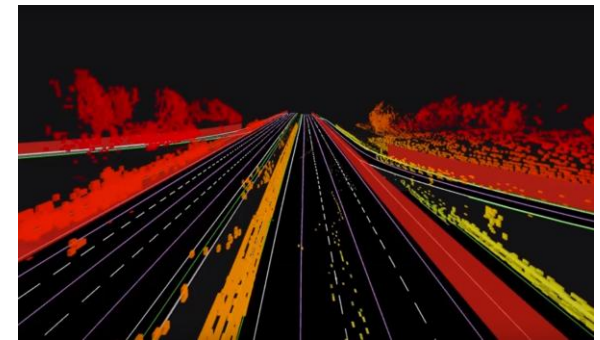
Source: High-Definition Mapping for Autonomous Vehicles:
Pioneering Safe and Smart Mobility, Lenka Venkatagiri Babu 26 Sep, 2023



Source: Tom Tom



Tom Tom: <https://youtu.be/ga5fW-QSXp0>



Source: Tom Tom

Mapy SD, MD/SD+, HD



widzenie człowieka

„widzenie” robota



Mapy SD, MD/SD+, HD

HD = High Definition map

- **Dokładność na poziomie cm/dm:** mapy zawierają bardzo szczegółowe dane o terenie umożliwiając precyzyjną nawigację w przestrzeni 3D. Obejmują takie elementy jak: przebieg dróg, oznakowanie pasów ruchu, znaki drogowe, krawężniki, przeszkody i bariery (Vardhan, 2017)
- **Integracja z systemami czujników:** mapy HD współpracują z technologiami takimi jak lidar, radar, kamery, IMU, GNSS i IoT, zapewniając dokładne pozycjonowanie i bieżące aktualizacje
- **Dynamiczne aktualizacje:** uwzględnienie zmian w otoczeniu w czasie rzeczywistym (roboty drogowe, warunki pogodowe)



Mapy SD, MD/SD+, HD

SD = Standard Definition map

- Mapy na poziomie „topograficznym”, wykorzystywane głównie w tradycyjnych systemach nawigacyjnych
- Sieć dróg i połączenia między nimi
- Klasyfikacja dróg (np. autostrady, arterie komunikacyjne, ulice lokalne)P
- Adresy i punkty użyteczności publicznej (POI)
- Zazwyczaj są one stosowane w konsumenckich systemach nawigacyjnych i nie są wystarczająco dokładne do celów jazdy autonomicznej

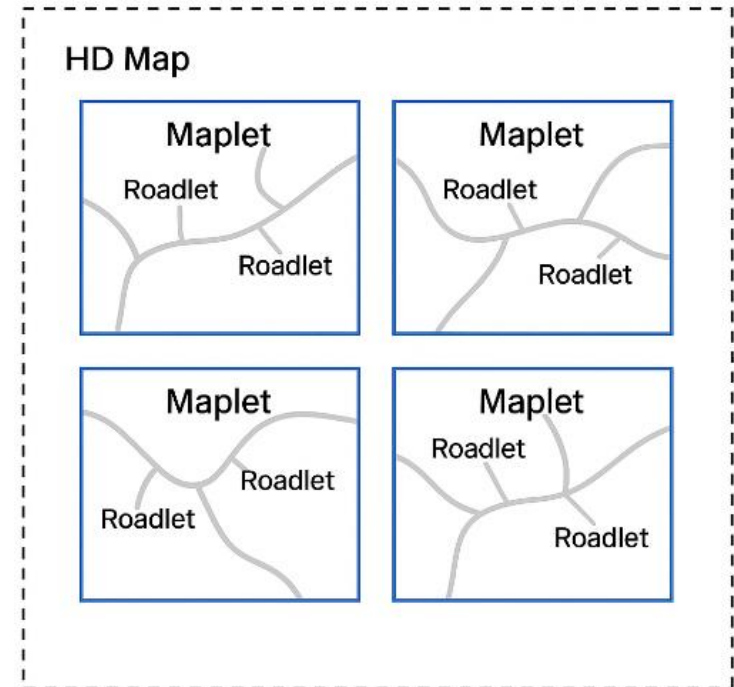
MD = Medium Definition map

- Mapy te charakteryzują się poziomem szczegółowości pośrednim między SD a HD
- Podstawowa geometria pasa ruchu
- Wybrane informacje dotyczące elementów na poziomie pasa ruchu (np. zakręty, wjazdy na pas)
- Czasami wykorzystywane w systemach wspomagania kierowcy oraz jako etap przejściowy w kierunku map HD



Roadlets, maplets

- **Maplet** - niewielki, samodzielny fragment mapy o wysokiej rozdzielczości (HD), zawierający zlokalizowane dane geograficzne i drogowe, zaprojektowany z myślą o modułowym ładowaniu i wydajnym przetwarzaniu w systemach autonomicznej jazdy.
- **Roadlet** - roadlet to szczegółowy segment drogi w ramach mapy HD, przedstawiający geometrię i atrybuty krótkiego odcinka drogi — zazwyczaj wykorzystywany do planowania trasy, lokalizacji i nawigacji na poziomie pasa ruchu.



Czy stosujemy te pojęcia w kartografii? Czy znajdują one odzwierciedlenie w teorii kartografii?



Kilka inspirujących cytatów...

- *Mapy HD to w zasadzie modele odzwierciedlające rzeczywisty stan terenu w skali zbliżonej do 1:1, tworzone przez maszyny dla maszyn.*
- *Mapowanie HD składa się zasadniczo z trzech elementów – mapowania „miejsca”, mapowania „czasu” oraz zintegrowanego mapowania „miejsca” i „czasu”.*
- *Do kluczowych wyzwań badawczych należą: wydobywanie istotnych scenariuszy jazdy, modelowanie przypadków skrajnych przy braku danych szkoleniowych oraz przewidywanie kontekstowych zachowań ludzi...*

Source: Liqiu Meng. The “Here and Now” of HD Mapping for Connected Autonomous Driving, pages 329–340. Springer Nature Singapore, Singapore, 2022.



Kilka inspirujących cytatów...

- Dane wstępnie obliczone (...) można traktować jako **zbiorową pamięć całej floty** pojazdów autonomicznych, do której każdy pojazd z tej floty ma dostęp w ramach mapy
- W tym środowisku można postrzegać flotę pojazdów autonomicznych jako wspólnie widzącą otoczenie w sposób rozproszony, z różnych kątów i punktów widzenia.
- Mapa staje się wówczas **wspólną strukturą danych**, która istnieje zarówno w chmurze, jak i jest zainstalowana w każdym z pojazdów autonomicznych. Pojazdy autonomiczne wykorzystują mapę zarówno do odczytu, jak i zapisu w tej zbiorowej pamięci pojazdów autonomicznych, do której każdy pojazd z tej floty ma dostęp w ramach mapy

Source: „Rethinking Maps for Self-Driving”, By Kumar Chellapilla, Lyft Level 5



Kilka inspirujących cytatów...

- Czujnik nie jest w stanie przewidzieć, że zbliża się na przykład bardzo ostry zakręt, ale dzięki odpowiedniej technologii mapowania samochód może wiedzieć, co go czeka
- Jedynym sposobem na wykrycie z odległości 300 m, czy samochód jadący z przodu znajduje się na moim pasie ruchu, jest wykorzystanie szczegółowej geometrii drogi i pasów ruchu z *mapy HD jako wirtualnego „przedłużenia zasięgu”* czujnika kamery

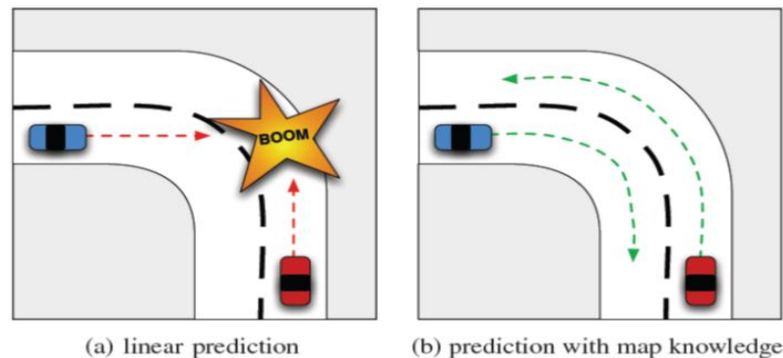


Fig. 1: Example: A conventional filter with linear velocity estimation would predict a collision which is not very reasonable for the given course (a). Extension upon map knowledge helps to predict the situation correctly (b).

Source: Gindele, T., Brechtel, S., Schroder, J., & Dillmann, R. (2009). Bayesian Occupancy grid Filter for dynamic environments using prior map knowledge. 2009 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 669–676. <https://doi.org/10.1109/IVS.2009.5164357>.



Kilka inspirujących cytatów...

- *Mapy cyfrowe przechodzą ewolucję od narzędzi nawigacyjnych do niezbędnej dla jazdy autonomicznej infrastruktury*

Source: Brans, P. (2025). HERE, BMW Extend Precision Mapping for Autonomous Driving.



Kilka inspirujących cytatów...

- Ręczne tworzenie map HD jest kłopotliwe, a istnieje zarówno zapotrzebowanie, jak i potencjał do tworzenia map przy użyciu zautomatyzowanych systemów – w tym samych pojazdów – które przetwarzają ogromne zbiory danych w chmurze za pomocą algorytmów sztucznej inteligencji
- Mapy HD poszerzają rozumienie map ze statycznych narzędzi wizualnych do dynamicznych systemów precyzyjnych informacji przestrzennych, zaprojektowanych zarówno dla ludzi, jak i maszyn
- Mapy HD zapewnią pojazdom autonomicznym dodatkową inteligencję, pomagając im w sterowaniu poprzecznym i wzdłużnym, uwzględnianiu kontekstu otoczenia oraz przetwarzaniu lokalnych przepisów drogowych, co umożliwi podejmowanie bezpieczniejszych i bardziej proaktywnych decyzji podczas jazdy

Source: Sengupta, A., HD Maps: Steering the Future. Geospatial World



Mapy HD versus mapy tradycyjne

Czy właśnie w ten sposób rozumiemy i definiujemy mapę w kartografii?



Mapy HD versus mapy tradycyjne

Aspect	Classical Model	Updated Model?
Sender	Human cartographer or mapping institution	Hybrid: human-machine systems , sensor/AI-supported mapping pipelines (learned map/REM)
Purpose	Communication of spatial information to humans	Real-time spatial decision support for machines (e.g., autonomous vehicles, ADAS function)
Map user	Human (reader, analyst, decision-maker)	Human and Machine (decision systems, AI modules, onboard computers)
Medium	Paper maps or static digital maps	Dynamic, frequently updated digital databases and map streams
Map content	Generalized, symbolized spatial data	Highly detailed, metric-precise, layered geodata (lanes, signs, 3D models)
Communication model	Human-centric; based on perception, interpretation, cognition	Machine-centric; based on protocols and digital computer models , object detection, sensor fusion
Map interpretation	Requires visual and cognitive skills	Requires computational parsing and real-time processing
Update frequency	Periodic (manual update cycles)	High frequency (automatic updates from sensors , crowdsourcing, fleet feedback)
Map scale	Flexible, based on generalization principles	Not applicable (decimeter-level accuracy required for driving context)
Symbolization	Essential (visual abstraction, semiotics)	Often absent or abstracted into machine-readable features types
Epistemological model	Cartography as a form of human geographic knowledge	Cartography as embedded intelligence (prior model of reality)/ part of the infrastructure for autonomous systems
End use	Visualization, education, decision support	Autonomous navigation, robotics, real-time control systems and real time decisions



Mapy HD versus mapy tradycyjn

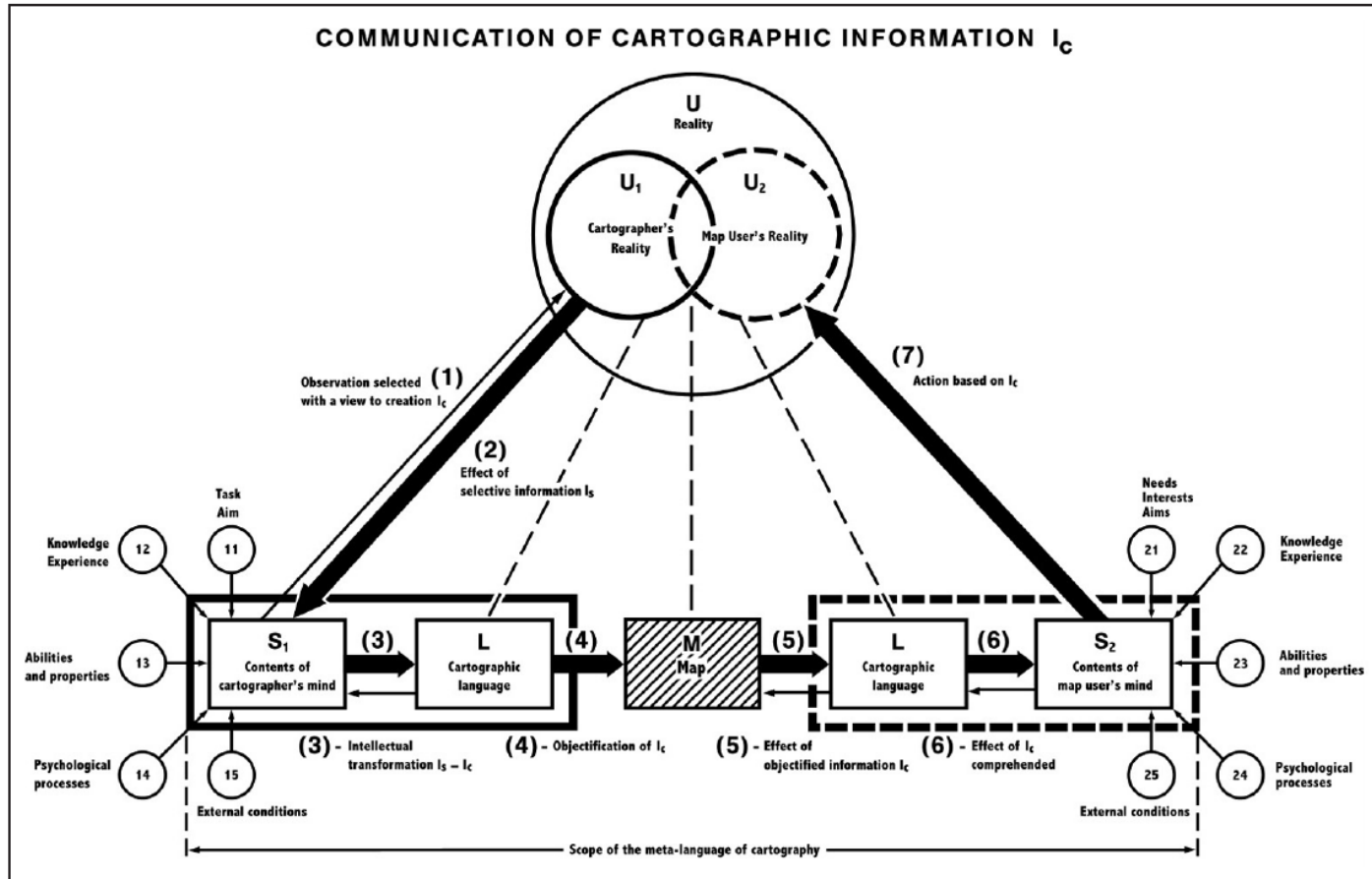
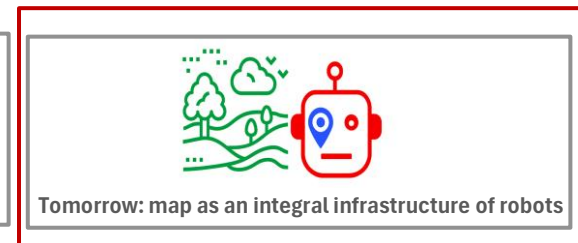
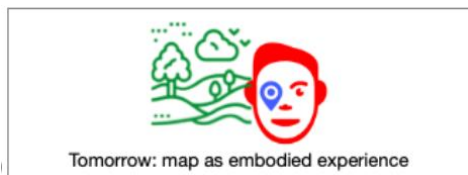


Figure 1: Koláčny's (1969) diagram of the map communication model (redrawn from Koláčny, 1969 and reproduced courtesy of the British Cartographic Society).

Kent, A. J. (2018). Form Follows Feedback: Rethinking Cartographic Communication.

Koláčny, A. (1969). Cartographic Information—a Fundamental Concept and Term in Modern Cartography.

Nowa kartografia czy kolejny etap jej rozwoju?



Envisioning the future of academic cartographic education

Georg Gartner ^a, Menno-Jan Kraak ^b, * Dirk Burghardt ^c, Liqiu Meng ^d, Juliane Cron ^d, Corné van Elzakker ^b, Britta Ricker ^h

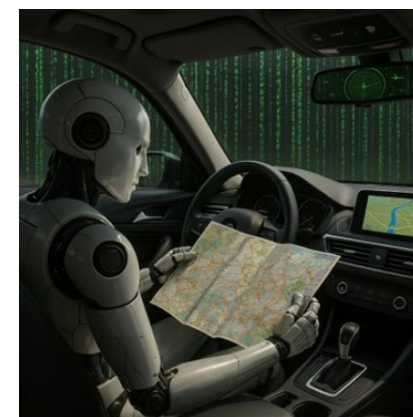


Image source: ChatGPT/D. Gotlib prompts

Wnioski

- Produkcja nowoczesnych map dla pojazdów autonomicznych uzmysławia zmiany zachodzące w procesach kartograficznych.
- Zmiany te kładą nacisk na automatyzację, przetwarzanie danych na dużą skalę, interaktywność, aktualizacje w czasie rzeczywistym oraz integrację z technologiami IoT i sztucznej inteligencji



Wnioski

- Definicja mapy HD **wykracza poza tradycyjną definicję mapy jako artefaktu wizualnego**. Stają się one sensorycznym i decyzyjnym modelem przestrzeni dla maszyn autonomicznych
- Będą to „żywe mapy”, tworzone coraz częściej przez **systemy sztucznej inteligencji** przy udziale człowieka
- W obliczu tego klasyczne postrzeganie mapy jako (statycznej, wizualnej reprezentacji przeznaczonej wyłącznie dla ludzi) traci na znaczeniu, co **wymaga rewizji** w świetle nowych technologii mapowania.
- Nie umniejsza to znaczenia tradycyjnych map i kartografii, ale wskazuje, że **kartografia ulega zmianom i ewoluuje** – od sztuki narracji wizualnej do funkcjonalnego narzędzia percepcyjnego.



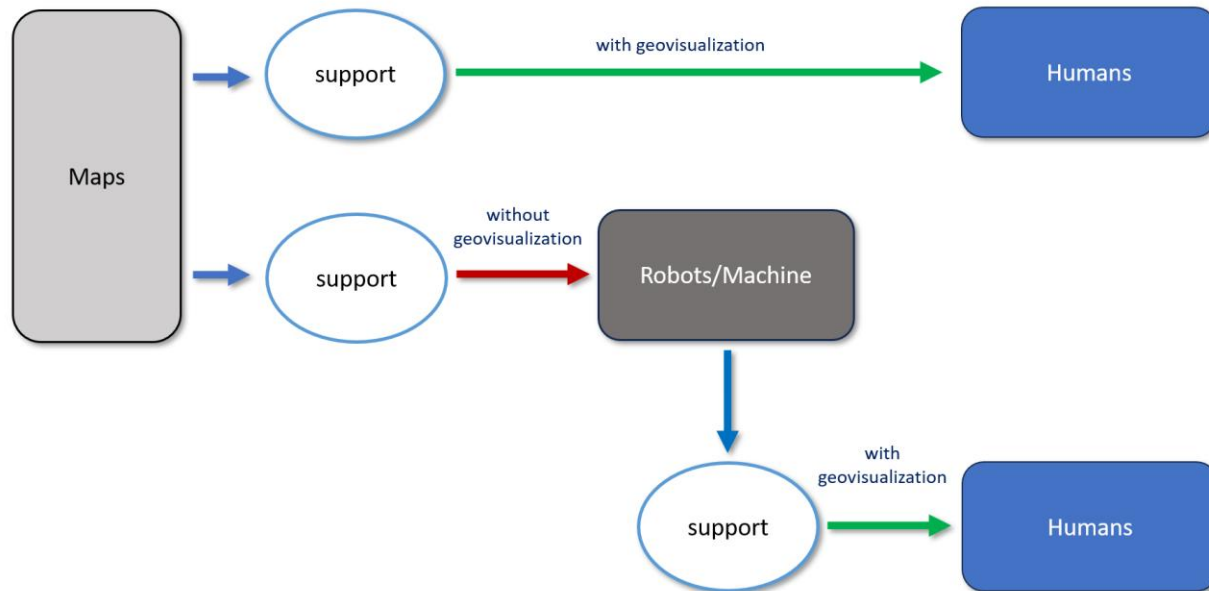
Wnioski

- Mapa przestała być „płaskim odwzorowaniem przestrzeni” i staje się strukturą regulującą zachowanie maszyny
- Mapa stanowi zbiór danych o znaczeniu operacyjnym, a nie jedynie informacje geograficzne
- Mapa jest grafem powiązań i relacji, a nie tylko zbiorem obiektów geometrycznych
- Formaty map stosowane w pojazdach autonomicznych traktują mapę nie jako obraz, lecz jako graf relacji i reguł



Wnioski

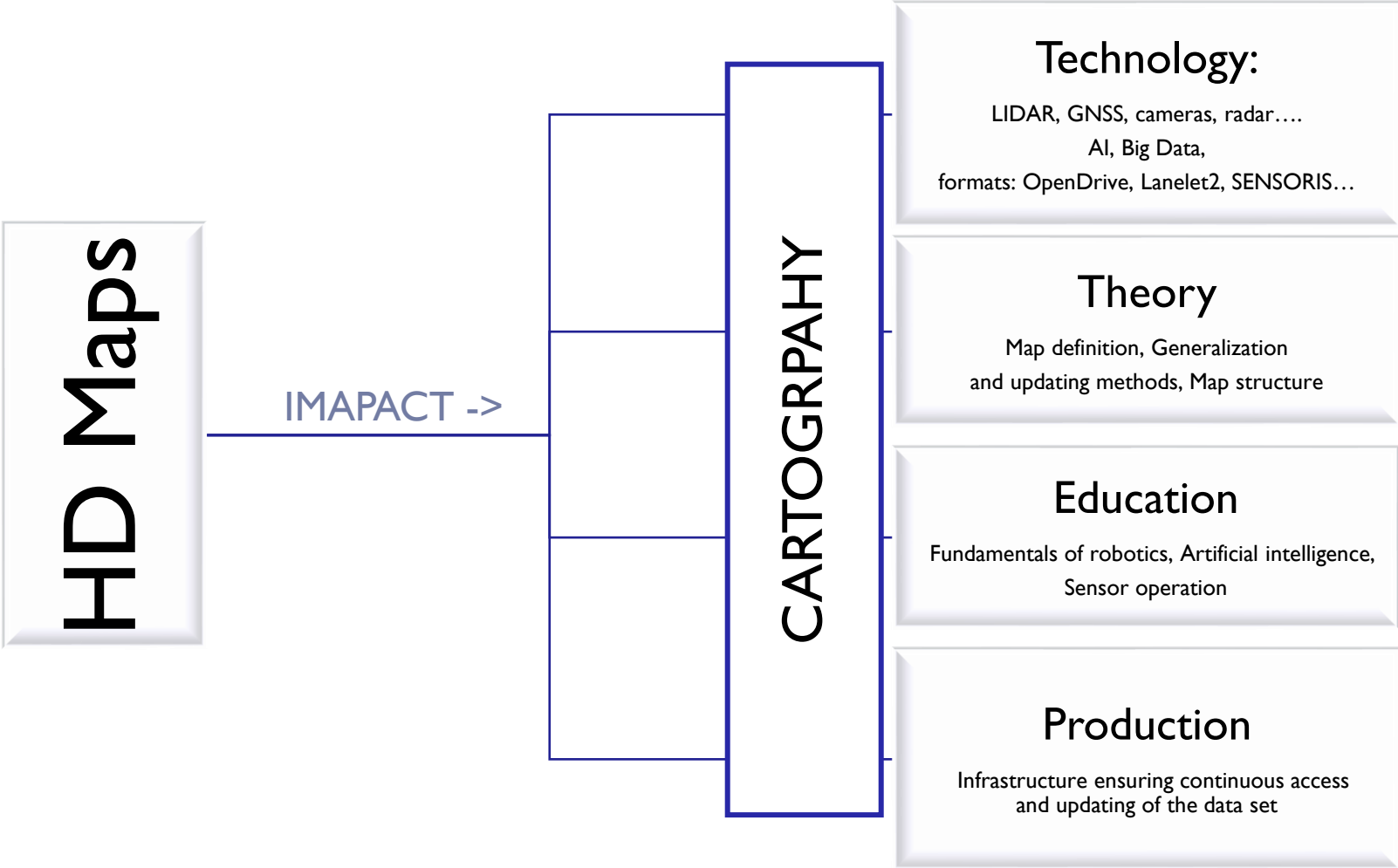
- Czy to podejście i sposób myślenia o „mapach dla maszyn”, a może nawet o „erze map dla maszyn”, zmienia to, co podkreślił prezes ICA w swoim przemówieniu podczas ceremonii otwarcia ICC 2025: „MAPY SĄ PRZEZNACZONE DLA LUDZI”?



Odpowiedź: Nic się nie zmienia – mapy nadal będą przeznaczone dla ludzi...



Wnioski



Dziękuję za uwagę



Image source: ChatGPT ChatGPT based on prompts D. Gotlib



WUT



STELLANTIS

References

- Gotlib, D., Gartner, G., & Miksa, K. (2026). HD Maps for Autonomous Vehicles: Implications for Cartographic Theory and Practice. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 15, Artykuł 2. <https://doi.org/10.3390/ijgi15020068>
- Gotlib, D., Gartner, G., & Miksa, K. (2025). The Impact of HD Maps for Autonomous Vehicles on the Evolution of Cartography. *Abstracts of the International Cartographic Association*, 10, 1–2. <https://doi.org/10.5194/ica-abs-10-93-2025>
- Brans, P. (2025). HERE, BMW Extend Precision Mapping for Autonomous Driving. *EE Times Europe*. <https://www.eetimes.eu/here-bmw-extend-precision-mapping-for-autonomous-driving/>
- Elghazaly, G., Frank, R., Harvey, S., & Safko, S. (2023). High-Definition Maps: Comprehensive Survey, Challenges, and Future Perspectives. *IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems*, 4, 527–550. <https://doi.org/10.1109/OJITS.2023.3295502>
- Gartner, G., Kraak, M.-J., Burghardt, D., Meng, L., Cron, J., van Elzakker, C., & Ricker, B. (2019). Envisioning the future of academic cartographic education. *Abstracts of the ICA*, 1, 1–2. <https://doi.org/10.5194/ica-abs-1-89-2019Project>. (b.d.). Updating HD Maps with Videos from Vehicles. Retrieved on July 28, 2025, from <https://mscvprojects.ri.cmu.edu/2020teamg/project/>
- Gotlib, D., Olszewski, R., & Gartner, G. (2021). The Extended Concept of the Map in View of Modern Geoinformation Products. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/ijgi10030142>
- HD Map for Autonomous Vehicle Market Size and Share [2032]. (b.d.). Retrieved on July 20, 2025, from <https://www.fortunebusinessinsights.com/hd-map-for-autonomous-vehicles-market-105931>
- Kent, A. (2018). Form Follows Feedback: Rethinking Cartographic Communication. *Westminster Papers in Communication and Culture*, 13, 96–112. <https://doi.org/10.16997/wppcc.296>
- Koláčny, A. (1969). Cartographic Information—a Fundamental Concept and Term in Modern Cartography. *The Cartographic Journal*, 6(1), 47–49. <https://doi.org/10.1179/caj.1969.6.1.47>
- Level 5, W. P. (2021, lipiec 12). Rethinking Maps for Self-Driving. *Woven Planet Level 5*. <https://medium.com/wovenplanetlevel5/https-medium-com-lyftlevel5-rethinking-maps-for-self-driving-a147c24758d6>
- Meng, L. (2022). The “Here and Now” of HD Mapping for Connected Autonomous Driving. W B. Li, X. Shi, A.-X. Zhu, C. Wang, & H. Lin (Red.), *New Thinking in GIScience* (s. 329–340). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3816-0_35
- Miller, G. (b.d.). Autonomous Cars Will Require a Totally New Kind of Map. *Wired*. Retrieved on July 28, 2025, from <https://www.wired.com/2014/12/nokia-here-autonomous-car-maps/>
- Sengupta, A. (2023). HD Maps: Steering the Future. *Geospatial World*. <https://geospatialworld.net/prime/business-and-industry-trends/hd-maps-steering-future/>
- TomTom (Reżyser). (2016, April 26). TomTom Enables Autonomous Driving [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=ga5fWv-QSXp0>
- Vardhan, H. (2017). HD Maps: New age maps powering autonomous vehicles. *Geospatial World*. <https://geospatialworld.net/article/hd-maps-autonomous-vehicles/>