

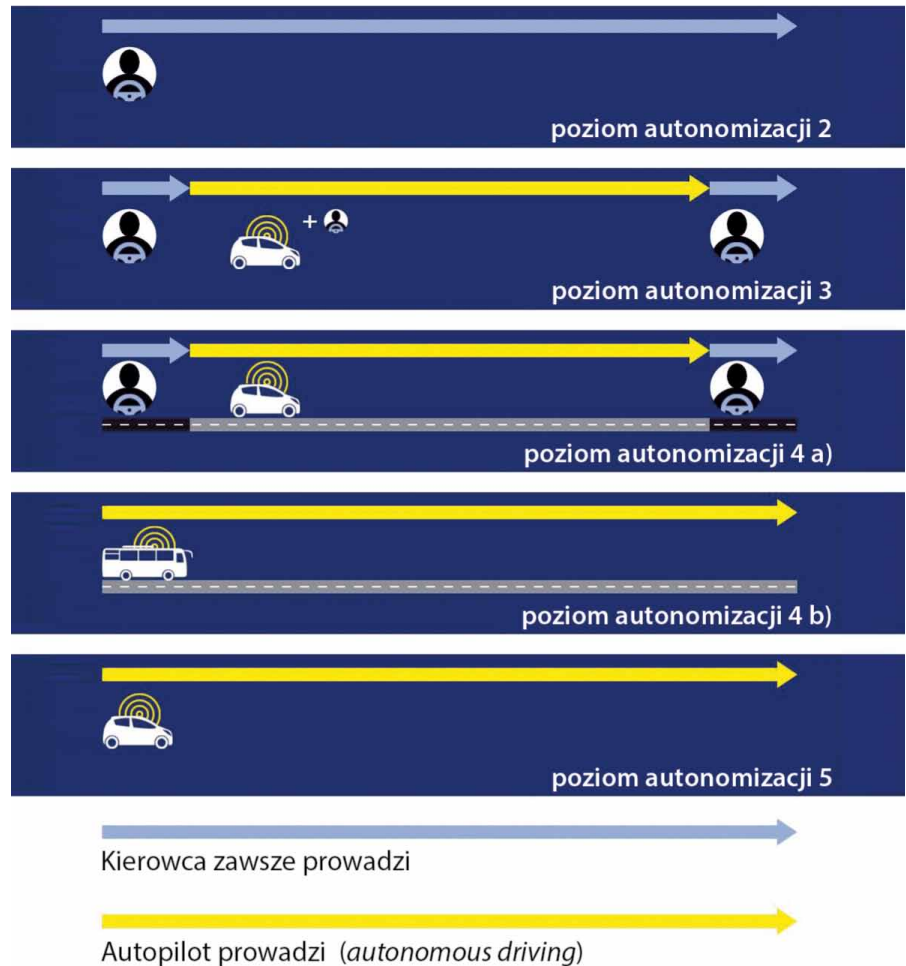
# Pojazdy autonomiczne. Wstęp

Włodzimierz Choromański, Iwona Grabarek, Maciej Kozłowski, Andrzej Czerepicki, Katarzyna Anna Marczuk

Niewątpliwie rozważania należałoby zacząć od definicji – co rozumiemy przez pojęcie pojazdu autonomicznego? Odpowiedź na to pytanie wcale nie jest prosta. W literaturze, w wielu rozważaniach naukowych istnieje bardzo dużo definicji tego pojęcia. Co więcej, problematyczne jest używanie go w odniesieniu do niektórych technologii kierowania pojazdami. Terminologia obecnie używana nie jest jednolita, np. pojazdy autonomiczne, pojazdy automatyczne, CAD, platooning, ADAS itp. Ujednoliceniu niektórych pojęć służy klasyfikacja SAE (*Society of Automotive Engineers*), choć i ona nie jest jednoznaczna (stopień automatyzacji podzielono na pięć poziomów). W przekonaniu autora można by postarać się o inną definicję: przez pojazd autonomiczny rozumiemy taki, który posiada następujące cechy:

- kieruje samodzielnie, czasowo lub ciągle, tzn. eliminuje całkowicie lub częściowo udział kierowcy;
- pozwala na inteligentny wybór trasy (w zależności od celu podróży) oraz wykonanie manewrów (adekwatnych do aktualnej sytuacji na drodze).

Ta definicja, jakkolwiek też niedoskonała, ukierunkowuje na przedmiot rozważań w niniejszym artykule. W rozumieniu powyższej definicji za pojazd autonomiczny nie można uznać tramwaju bez motorniczego (metro bez motorniczego jest już powszechnie stosowane, np. w Kopenhadze). Kluczowego znaczenia nabiera problem, jakie manewry może wykonywać pojazd. Obok podstawowego manewru hamowania oraz rozpoznania podstawowych reguł ruchu można analizować inne, jak zmianę pasa ruchu, omijania i wyprzedzania, realizację zasady ograniczonego zaufania itp. Skala trudności w zależności od możliwości wykonania tych manewrów zmienia się zasadniczo. Prowadzenie pojazdu w trybie autonomicznym wymaga rozwiązania wielu trudnych interdyscyplinarnych problemów.



Rys. 1. Poziomy automatyzacji według klasyfikacji SAE uogólnionej w raporcie

Źródło: opracowanie własne

1. Określenia metody identyfikacji położenia pojazdu (z dokładnością do 1–2 cm) i skorelowania go z aktualną mapą dróg.
2. Zdefiniowania metody rozpoznawania obiektów przez układ sensoryczny pojazdów oraz oprogramowanie.
3. Określenia metody podejmowania decyzji o koniecznych manewrach.
4. Określenia procedury dopuszczenia pojazdów do ruchu, oceny bezpieczeństwa.
5. Rozwiązania nieprostych problemów legislacyjnych, w tym odpowiedzialności

za ewentualne wypadki, oraz przeszkolenia (w porównaniu z tradycyjnym prawem jazdy) użytkowników pojazdów autonomicznych.

Wspomniana klasyfikacja SAE dzieli stopień automatyzacji na pięć poziomów (rys. 1).

Poziom L1 odnosi się do samochodów niewyposażonych w żadne mechanizmy do wspomagania kierowania pojazdem, a więc tym bardziej w układy zorientowane na automatyzację. Taki stan występował w przemyśle motoryzacyjnym

do lat 70. ubiegłego wieku. Poziom L2 charakteryzuje się wprowadzaniem niektórych elementów autonomizacji. Kierowca cały czas musi trzymać ręce na kierownicy i w pełni kontrolować prowadzenie samochodu, ale kierowanie pojazdem może być wspomagane np. dynamicznym tempomatem, automatycznym utrzymaniem pasa ruchu (podczas jazdy po torze zakrzywionym) itp. Badania i projekty dotyczące poziomu L2 pojawiły się pod koniec XX wieku, przede wszystkim w Stanach Zjednoczonych na uniwersytetach Stanforda i Berkeley. Określane były terminem AVCS (*Advanced Vehicle Control Systems*). Podobne programy realizowano w tym samym okresie w Europie.

Początek wieku XXI charakteryzuje się wykorzystaniem w motoryzacji nowoczesnych technologii informatycznych (*software i hardware*). Wynikiem tego są próby wprowadzenia poziomu L3, czyli tzw. warunkowej autonomizacji. Polega on na tym, że wprawdzie kierowca musi cały czas kontrolować drogę, ale system jest przygotowany do autonomicznej (bez udziału kierowcy) jazdy. W sytuacjach zagrożenia kierowca musi być w stanie w każdej chwili przejąć całkowitą kontrolę nad pojazdem. Jest to krytyczny moment. Dopuszczenie do ruchu pojazdów na poziomie L3 jest dyskusyjne. Dobrym przykładem, który ilustruje pojawiające się wątpliwości, jest wypadek (z ofiarą śmiertelną) samochodu Volvo XC90 (wyposażonego w układ autonomicznej jazdy na poziomie L3) należącego do korporacji Uber. Samochód śmiertelnie potrafił kobietę przechodzącą przez jezdnię w niedozwolonym miejscu. Zawiodły: przeszkolenie kierowcy (kierowca nie zajmował się śledzeniem drogi, czego wymaga poziom L3), układ HMI oraz przede wszystkim oprogramowanie.

Bardzo ciekawie, a zarazem niekלארownie jest zdefiniowany poziom autonomizacji L4. W raporcie autorstwa L. Fraade-Blanar, M.S. Blumenthal, J.M. Andersona i N. Karli, *Measuring Automated Vehicle Safety. Forging a Framework*, Rand Corporation, Santa Monica, California 2018, zdefiniowano nawet dwa poziomy L4: a i b. Najogólniej



Rys. 2. Miniautobus firmy 2getthere zaprojektowany dla miasta Rzeszów

Źródło: opracowanie własne

ujmując, pojazd na tym poziomie nie ma kierowcy, więc teoretycznie może się poruszać autonomicznie, ale obszar i drogi, po których jedzie, są ściśle określone. W skrajnych przypadkach (L4b) mamy do czynienia ze swoistym pojazdem torowym, z tym że tor nie ma charakteru mechanicznego. Jest wyznaczany z wykorzystaniem systemów lokalizacji pojazdu i złożonych systemów informatycznych z algorytmami rozpoznawania obrazów. Bardzo często do prowadzenia pojazdu wykorzystywane są przestrzenne mapy cyfrowe. Przykładem takiej autonomizacji są miniautobusy firm Navya czy 2getthere.

Zauważmy, że na poziomie L4 zacierają się różnice między pojazdem torowym a niektórymi pojazdami autonomicznymi. Cały czas mamy rodzaj „toru” (na poziomie L4), jakkolwiek jest to tor niemechaniczny. Często (przynajmniej z wykorzystaniem współczesnych technologii) rozwiązania na poziomie L4 umożliwiają bardzo zawężony zbiór manewrów. Dla miniautobusów wymienionych firm niedostępne są np. manewry wyprzedzania czy omijania.

Technologiami, które się przenikają (co nie znaczy, że są tożsame) z technologiami pojazdów autonomicznych, są CAD (*Connected and Automated Driving*) i Automotive Internetworking. W dużym skrócie – dotyczą one zagadnień komunikacji między pojazdami (V2V), między

pojazdami a infrastrukturą (V2I). Szczególnym przypadkiem komunikacji V2V jest *platooning*, polegający na szeregowym połączeniu (niemechanicznym) pojazdów w skład (analogicznie do pociągu). Tylko pierwszy pojazd ma kierowcę, pozostałe podążają za nim. Przedmiotem niniejszej książki nie są jednak problemy dotyczące *automotive internet working*, jakkolwiek jeden z rozdziałów traktuje o tym zagadnieniu.

Pojazdy autonomiczne wymagają sensorycznych systemów pomiarowych, które pozwalają na identyfikację obiektów i ich cech w sąsiedztwie pojazdu. Podstawowe wykorzystywane układy sensoryczne to:

- DGPS (*Differential Global Positioning System*) – technika pomiarów GPS pozwalająca na uzyskanie większej dokładności niż przy standardowym pomiarze jednym odbiornikiem, polegająca na wykorzystaniu stacji bazowej (tzw. referencyjnej) – odbiornika ustawionego w dokładnie wyznaczonym punkcie (np. przez pomiar geodezyjny), który wyznacza na bieżąco poprawki różnicowe dla poszczególnych satelitów;
- lidary;
- radary;
- kamery.

Urządzeniem szczególnie wykorzystywanym w pojazdach autonomicznych jest lidar – skaner laserowy. Zostanie on opisany w kolejnych rozdziałach.



Rys. 3. Możliwe sytuacje drogowe

Jednym z najważniejszych elementów pojazdów autonomicznych jest system informatyczny, na który składają się *software* i *hardware* oraz nowe struktury algorytmiczne. Algorytmy stosowane w pojazdach autonomicznych opisane zostały między innymi w [Bugala 2018] oraz [Rosenzweig i Bartl 2019]. Działanie większości z nich opiera się na metodach heurystycznych wykorzystujących maszynowe uczenie (*deep learning*). Ta technologia informatyczna składa się zazwyczaj z trzech podstawowych filarów: dużych zbiorów danych (*big data*), bardzo dużych mocy obliczeniowych (procesorów GPU, charakteryzujących się przetwarzaniem równoległym) oraz algorytmów opartych na głębokich sztucznych sieciach neuronowych (choć nie tylko). Część informatyczna odpowiedzialna jest między innymi za rozpoznanie otoczenia pojazdu (np. samochodów, pieszych), identyfikację ich istotnych cech (np. prędkości), wreszcie zaproponowanie i zrealizowanie właściwego manewru. Ten element jest niezwykle trudny i stanowi jedno z największych wyzwań nie tylko w informatyce samochodowej, lecz także w informatyce w ogóle. Liczba możliwych sytuacji drogowych jest praktycznie nieskończona, trudno więc „nauczyć” sztuczny mózg właściwego zachowania we wszystkich przypadkach.

Niektóre sytuacje przedstawiono na rys. 3. Konstrukcja pojazdu na poziomie L5 do autonomicznej jazdy w każdych warunkach jest obecnie niemożliwa i zasadne jest pytanie, czy będzie możliwa kiedykolwiek. Dlatego należy przychylić się do tezy, że pojazdy autonomiczne powstaną w technologiach

wykorzystujących ściśle współpracę ze specjalnie „uzbrojoną” infrastrukturą. Do dziś nie zostały opracowane standardy dotyczące pojazdów autonomicznych. Trwają intensywne prace w Komisji Europejskiej i w Polsce. W kraju wprowadzeniem pojazdów autonomicznych i budową dla nich odpowiedniej infrastruktury zajmuje się Ministerstwo Infrastruktury.

Osobną kwestią jest problematyka prawna związana z pojazdami autonomicznymi. Dotyczy ona między innymi:

- 1) warunków dopuszczenia do ruchu pojazdów autonomicznych na różnym poziomie autonomizacji;
- 2) odpowiedzialności za ewentualne kolizje drogowe;
- 3) określania testów i miar bezpieczeństwa pojazdów autonomicznych;
- 4) określenia zasad budowy oprogramowania (np. oprogramowanie powinno być uruchamiane przez dwie niezależne funkcje);
- 5) zasad budowy elementów infrastruktury (np. przestrzennych map cyfrowych i ich udostępniania).

Rozważania dotyczące tych problemów zostaną podjęte w dalszych rozdziałach. W tym miejscu ograniczymy się tylko do stwierdzenia, że wprowadzona 11 stycznia 2018 r. ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz.U. 2018, poz. 317) dopuszcza testowanie pojazdów autonomicznych w Polsce. Mówiąc o pojazdach autonomicznych, bardzo często skupiamy się tylko na problemach sztucznej inteligencji, zapominając, że o właściwościach pojazdów autonomicznych decyduje również tradycyjna część mechaniczna (układy jezdne, zjawiska w obszarze kontaktu

koło ogumione – droga). Jeżeli nie będzie warunków ruchu powodujących bezpieczną jazdę samochodu „tradycyjnego”, układy autonomiczne też tego nie zapewnią. Pojazdy autonomiczne wymuszają niejako zmiany również w układach mechanicznych, uważanych za klasyczne. Jako przykład można wymienić pracę nad inteligentną oponą sferyczną firmy Goodyear (specjalnie dla pojazdów autonomicznych) czy konieczność stosowania układów *steer by wire* (co oznacza, że między układem kierowniczym a układem skrętu kół nie ma połączenia mechanicznego).

### Literatura

- BUGAŁA M.: *Algorytmy stosowane w pojazdach autonomicznych*. „Szybkobieźne Pojazdy Gąsienicowe” 4(50)/2018.
- ROSENZWEIG J., BARTL M.: *Review and Analysis of Literature on Autonomous Driving* (2019), <http://www.michaelbartl.com/article/a-review-and-analysis-of-literature-on-autonomous-driving/>.

Fragment pochodzi z książki:

*Pojazdy autonomiczne i systemy transportu autonomicznego*,  
W. Choromański, I. Grabarek, M. Kozłowski,  
M. Czerepicky, K. Marczuk,  
Wydawnictwo Naukowe PWN,  
Warszawa 2020