

OPRACOWANIE METODYKI WYZNACZANIA PRZEJEZDNOŚCI TERENU PRZY UWZGLĘDNIENIU MIKRRORZEŻBY

Autor: kpt. mgr inż. Wojciech Dawid

Promotor: płk dr hab. inż. Krzysztof Pokonieczny, prof. WAT

Promotor pomocniczy: ppłk dr inż. Marek Wyszyński

Planowanie operacji reagowania kryzysowego wymaga uwzględnienia ukształtowania terenu. Postępujący w ostatnich latach rozwój technologii lotniczego skaningu laserowego umożliwia opracowywanie szczegółowych numerycznych modeli terenu, dzięki którym możliwa stała się analiza elementów mikrorzeźby. W dużym stopniu wpływa ona na możliwości poruszania się pojazdów po terenie i dzięki systemom informacji geograficznej istnieje możliwość zautomatyzowania procesu detekcji nawet najmniejszych przeszkód terenowych. Istniejące dotychczas rozwiązania związane z modelowaniem przejezdności terenu pozwalają jedynie na ogólne zapoznanie się z warunkami przejezdności na określonym obszarze i nie uwzględniają wpływu mikrorzeźby w aspekcie przestrzennym. Brak jest również rozwiązań, które umożliwiłyby wyznaczanie optymalnych tras dla określonych rodzajów pojazdów kołowych po bezdrożach z jednoczesnym uwzględnieniem elementów mikrorzeźby w czasie rzeczywistym.

Analiza literatury pozwoliła mi na zidentyfikowanie problemów badawczych dotyczących modelowania przejezdności terenu na poziomie szczegółowym dla pojedynczych pojazdów, które rozwiązałem w ramach cyklu publikacyjnego złożonego z pięciu tematycznie powiązanych artykułów naukowych. W ramach rozprawy doktorskiej zaproponowałem metodykę, która umożliwia automatyczne opracowanie map przejezdności terenu na poziomie szczegółowym dla pojedynczych pojazdów oraz automatyczne wyznaczanie tras przejazdu o różnym stopniu trudności dla konkretnych pojazdów kołowych.

Opracowanie szczegółowych map przejezdności terenu bazowało na zasadach geometrii analitycznej w przestrzeni trójwymiarowej i wykorzystałem do tego jedynie wysokorozdzielcze numeryczne modele terenu (NMT) i parametry trakcyjne pojazdów. Głównym założeniem tej metody było zamodelowanie płaszczyzny podwozia analizowanego pojazdu i sprawdzenie, czy w którymś miejscu terenu zahaczy ona o podłoże. Pokazałem, że opracowana metoda poprawnie generuje obszary nieprzejezdne oraz udowodniłem, że optymalnym rozwiązaniem jest zastosowanie danych wysokościowych o rozdzielczości 1 m, które pochodzą z lotniczego skaningu laserowego LIDAR.

Dotychczas istniejące mapy przejezdności terenu bazowały na podziale terenu na pola podstawowe i pozwalały na ogólne zapoznanie się z warunkami przejezdności na danym obszarze. W dalszych badaniach udowodniłem, że takie mapy mogą zostać wykorzystane do wyznaczania tras przejazdu w różnych konfiguracjach: trasy krótsze, lecz przebiegające przez

tereny o gorszej przejezdności oraz trasy dłuższe, ale poprowadzone przez obszary o dobrych lub bardzo dobrych warunkach przejezdności. Przy wyznaczaniu tras dla pojedynczych pojazdów wykorzystałem szczegółowe mapy przejezdności terenu (opracowane w poprzednim etapie badań) do wykluczenia miejsc w terenie, które są nieprzejezdne dla danego typu pojazdu. Wykazałem również, że algorytm Dijkstry lepiej sprawdza się przy wyznaczaniu tras tą metodą niż algorytm A*, ponieważ jest szybszy i zapewnia większą powtarzalność wyników.

Opracowane metody sprawdziłem, przeprowadzając studium przypadku, gdzie założyłem wystąpienie realnej sytuacji kryzysowej, w której pojazdy straży pożarnej miały dotrzeć do miejsc wystąpienia pożaru, zlokalizowanych z dala od sieci transportowej. Zaproponowałem tu metodę, która w pierwszej kolejności wyznacza trasy po drogach utwardzonych do miejsca położonego najbliższej celu, a następnie na przełaj, uwzględniając przeszkody terenowe związane z mikrorzeźbą. Poprawność działania tej metody zweryfikowałem, przeprowadzając wywiad terenowy w miejscu prowadzenia analiz. Udowodniłem również, że średni koszt przejazdu po analizowanym obszarze zależy głównie od zagęszczenia sieci drogowej.

W celu uniezależnienia się od konieczności wcześniejszego przygotowania map przejezdności terenu przy wyznaczaniu tras, opracowałem metodę, która umożliwia wyznaczanie trasy dla pojedynczego pojazdu jedynie na podstawie NMT oraz jego parametrów trakcyjnych. Zaproponowałem również sposób optymalizacji tego procesu, uogólniając NMT poprzez redukcję punktów wysokościowych na podstawie lokalnego odchylenia standardowego spadków terenu. Udowodniłem, że takie uogólnienie nie wpływa na dokładność modelu wysokościowego oraz że znacznie skraca czas wyznaczania tras (na analizowanym terenie średnio o 55%) przy jednoczesnym zachowaniu jakości uzyskiwanych wyników. Pokazałem również, że ustawienie wieloprocessorowości przy obliczeniach potrafi kilkukrotnie skrócić czas prowadzonej analizy.

W końcowym etapie badań zaproponowałem całościową metodykę wyznaczania przejezdności terenu, scalającą wyżej wymienione metody. Przetestowałem ją w oparciu o różne rodzaje terenów i pojazdy o odmiennych parametrach trakcyjnych. Uzyskane wyniki pokazały, że opracowana metodyka z powodzeniem automatycznie opracowuje mapy przejezdności dla konkretnych pojazdów, a także wyznacza dla nich trasy przejazdu. Mapy te różniły się w zależności od rodzaju pojazdu, ze względu na zróżnicowane parametry trakcyjne.

Zaproponowana przeze mnie metodyka rozszerza zakres prowadzonych dotychczas analiz przejezdności o aspekt szczegółowy – przejezdność rozpatrywana jest dla pojedynczych pojazdów. Dzięki temu, że wszystkie zaproponowane rozwiązania działają w sposób automatyczny, są uniwersalne i uwzględniają w czasie rzeczywistym mikrorzeźbę, można je wykorzystać przy planowaniu szerokiego zakresu operacji reagowania kryzysowego. Może to wpłynąć na oszczędność czasu, który w wielu sytuacjach okazuje się czynnikiem przeważającym o sukcesie prowadzonej akcji ratunkowej.

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR DETERMINING THE TERRAIN PASSABILITY CONSIDERING MICRORELIEF

Author: kpt. mgr inż. Wojciech Dawid

Supervisor: płk dr hab. inż. Krzysztof Pokonieczny, prof. WAT

Auxiliary supervisor: ppłk dr inż. Marek Wyszynski

Planning an emergency response operation requires taking the terrain into account. The development of airborne laser scanning technology, which has been progressing in recent years, allows for the development of detailed digital elevation models, thanks to which it has become possible to analyse the elements of the microrelief. To a large extent, these elements affect the ability of vehicles to move around the area and thanks to geographic information systems, it is possible to automate the process of detecting even the smallest terrain obstacles. The existing solutions related to terrain passability modelling only allow for a general understanding of the passability conditions in a given area and do not take into account the impact of microrelief in a spatial aspect. There are currently no solutions that enable the determination of optimal routes for specific types of wheeled vehicles on off-road terrain, while considering micro-relief elements in real-time.

The analysis of the literature allowed me to identify research problems regarding passability modelling at the detailed level for individual vehicles, which I solved as part of a publication cycle consisting of five thematically related scientific articles. As part of my doctoral dissertation, I proposed a method that allows one to automatically obtain a detailed model of terrain passability for individual vehicles and to support the process of planning emergency response operations by generating routes in various configurations.

To generate detailed terrain passability maps, I used only high-resolution digital elevation models (DEM) and traction parameters of vehicles, while their development was based on the principles of analytical geometry in three-dimensional space. The main assumption of the method was to model the chassis plane of the analysed vehicle and check whether it would hit the ground at any point in the area. I showed that the developed tool correctly generates impassable areas and proved that the optimal solution is the use of elevation data with a resolution of 1 m, which come from LIDAR airborne laser scanning.

So far, the existing maps of terrain passability were based on the division of the area into primary fields and allowed for general familiarization with the conditions of passability in a given area. In further research, I proved that such maps can be used to generate travel routes in various configurations: shorter routes, but running through areas with poorer passability, and longer routes, but routed through areas with good or very good passability conditions. When generating routes for individual vehicles, I used detailed terrain passability maps (generated in the previous stage of research) to exclude places in the area that are impassable for a given type

of vehicle. I also showed that Dijkstra's algorithm performs better than the A* algorithm for route generation because it is faster and more stable.

I checked the developed methods by conducting a case study in which I assumed the occurrence of a real crisis situation where fire brigade vehicles were to reach places of fire that were located far from the transport network. I proposed here a method that first determines routes on paved roads to the place closest to the destination, and then cross-country, taking into account terrain obstacles related to the microrelief. I verified the correctness of this method by conducting a field inspection in the place where the analyses were performed. I also proved that the average cost of travel in the analysed area depends mainly on the density and distribution of the road network.

In order to become independent from the need to prepare terrain passability maps in advance when determining routes, I have developed a method that allows one to determine a route for a single vehicle only on the basis of its traction parameters and DEM. I also proposed a way to optimize this process by generalizing the DEM by reducing the elevation points based on the local standard deviation of the slopes. I proved that such a generalization does not affect the accuracy of the elevation model and that it significantly shortens the time of route determination (on average by 55% in the analysed area), while maintaining the quality of the obtained results. I also showed that setting a multiprocessing during calculations can shorten the time of the analysis several times.

In the final stage of the research, I proposed a comprehensive methodology for determining terrain passability, integrating the above-mentioned methods into a unified approach. I tested it across various types of terrains and vehicles with different traction parameters. The obtained results demonstrated that the developed methodology successfully generates passability maps for specific vehicles automatically and also determines routes for them. These routes varied for different vehicles, directly reflecting their distinct traction parameters.

The methodology proposed by me extends the scope of passability analyses conducted so far by a detailed aspect, for individual vehicles. Due to the fact that all the proposed solutions work automatically, are universal and take into account microrelief in real time, they can be used in planning a wide range of crisis response operations. This can save time, which in many situations turns out to be a crucial factor in the success of a rescue operation.