

АЛГОРИТМИ ВИЗНАЧЕННЯ ОБЛАСТЕЙ ВИДИМОСТІ З ВЕЖ СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ

В охороні державного кордону України використовується система оптико-електронного спостереження (СОЕС). Підвищення ефективності функціонування цієї системи можливе за рахунок раціональної розстановки веж. Однак показник для оцінки цієї ефективності враховує області видимості. Вирішення завдання оптимізації розстановки веж вимагає багаторазового розрахунку областей видимості. Все це робить актуальним пошук алгоритму швидкого обчислення зон видимості. У роботі розглянуті алгоритми визначення областей видимості системи оптико-електронного спостереження на основі інформації про рельєф місцевості, проведено порівняння їх швидкодії. Запропонований швидкий алгоритм визначення областей видимості на основі використання алгоритму Брезенхейма для побудови ліній у 3D просторі з адаптуванням до місцевості.

Ключові слова: система оптико-електронного спостереження, області видимості, рельєф місцевості.

Постановка проблеми у загальному вигляді. На сьогоднішній день для ефективної охорони державного кордону України широко використовуються сучасні технічні засоби охорони кордону (ТЗОК). На Білгород-Дністровській ділянці кордону встановлено сучасну систему оптико-електронного спостереження (СОЕС). Перспективним є використання аналогічних систем і на інших ділянках кордону. Однак для ефективної розстановки веж спостереження СОЕС необхідно вирішити складне оптимізаційне завдання з максимізацією показника ефективності СОЕС. Цей показник враховує ефективність технічних засобів спостереження і області видимості, що визначаються рельєфом місцевості і розстановкою на ньому веж спостереження. Найбільшу обчислювальну складність при розрахунку показника ефективності СОЕС становить визначення областей видимості. Вирішення оптимізаційного завдання потребує багаторазового повторення таких розрахунків. Все це потребує визначення швидкого алгоритму пошуку областей видимості з урахуванням рельєфу місцевості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опираються автори. Задача визначення областей видимості на основі інформації про рельєф місцевості вирішена практично у всіх сучасних потужних геоінформаційних системах (ГІС). В окремих ГІС з відкритим вихідним кодом існує можливість аналізу алгоритму вирішення цієї задачі. Так у GRASS GIS можливо ознайомитись з цим алгоритмом і переглянути вихідний код відповідної команди [1]. В багатьох комерційних геоінформаційних системах, зокрема ArcGIS, надається лише загальний опис команди визначення областей видимості [2]. У статті [3] проведений аналіз різних підходів до визначення областей видимості з точки зору обчислювальної складності відповідних алгоритмів. В результаті проведених у [3] досліджень визначено, що найбільшу швидкодію забезпечують методи з швидкою растеризацією на основі алгоритмів Брезенхейма, 4WS (4-waystepping) і 8WS (8-way stepping). Однак останнім часом проводяться дослідження в напрямку подальшого прискорення їх швидкодії. У [4,5] розглядаються можливості підвищення швидкості визначення областей видимості за рахунок використання обчислювальної потужності сучасних графічних процесорів. Проте такий підхід ґрунтується на паралельній обробці інформації з використанням відомих методів. Інші автори вдосконалюють алгоритми з урахуванням особливостей окремих задач визначення видимості. Так у [6] розглядається модернізація алгоритму у випадку великої кількості спостерігачів. Однак в задачі розміщення веж СОЕС при визначенні показника ефективності потрібно знаходити області видимості для кожної вежі окремо. Зважаючи на це, метою даної роботи є формування швидкого алгоритму визначення областей видимості з веж СОЕС та порівняння його швидкодії з аналогами в сучасних ГІС.

Виклад основного матеріалу дослідження. Рельєф поверхні Землі в ГІС звичайно

описується скінченною кількістю дискретних значень висот. Така модель рельєфу отримала назву Digital Terrain Model (DTM) [3]. Одним з основних різновидів DTM є regular square grids (RSG). В цій моделі значення висот задаються дискретною множиною точок (x_v, y_v, z_v) у вузлах квадратної сітки. Саме таким чином визначається модель рельєфу у проєкті SRTM, де дані представлені у растровому форматі.

Дві точки p_1 і p_2 у просторі вважаються взаємно видимими, якщо кожна точка на відріжку прямої лінії, яка поєднує p_1 і p_2 є вищими за відповідні точки рельєфу. Звичайно спостерігач знаходиться над поверхнею рельєфу на певній висоті h , тоді до координати z точки знаходження спостерігача додається ця висота (рис. 1).

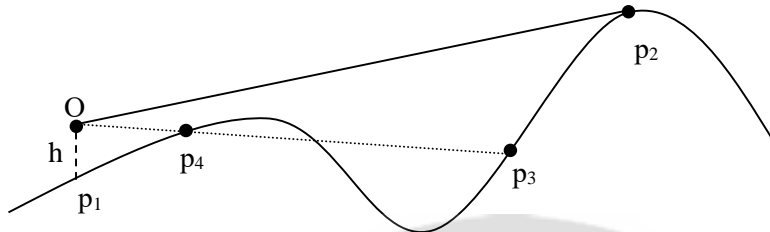


Рис. 1. Видимість точок місцевості

Як видно на рис. 1, з точки спостереження O забезпечується видимість точки p_2 , однак точка p_3 є невидимою (перетин з рельєфом здійснюється у точці p_4). Пряма, яка проходить через точку спостереження O і досліджувану точку на поверхні отримала назву line-of-sight (LOS) [3]. Для визначення видимості потрібно визначити чи не перетинає ця пряма поверхню рельєфу між досліджуваними точками. З метою визначення цього створено багато алгоритмів.

Так, у ГІС GRASS GIS фактична висота точки не ідентичної центру клітинки растру визначається методом білінійної інтерполяції. При цьому рельєф розглядається як гладка поверхня. Дві точки вважаються взаємно видимими, якщо їх лінія візування LOS не перетинає місцевість. Висота для довільної точки X в місцевості, інтерполюється з 4 сусідніх відліків рельєфу заданому у моделі RSG. Основною частиною алгоритму є визначення для кожної клітинки, лінії візування і її перетинів з клітинками місцевості. Аналіз перетинів прискорюється за рахунок повторного використання інформації про перетин або не перетин від однієї точки до наступної (використовується так звана лінія підмітання). Однак незважаючи на це процедура інтерполяції значно сповільнює функціонування цього алгоритму, що буде показано далі.

В багатьох застосуваннях дані рельєфу представлені з достатньою точністю для вирішення відповідних завдань. У цих випадках немає потреби в додатковій інтерполяції (значення висоти можна визначити з відповідного відліку растру). Тоді для прискорення роботи алгоритму для визначення координат (x, y) точок що належать до LOS можна застосувати техніку растрування. Одним з найпростіших і найшвидших алгоритмів растрової графіки для побудови відрізків прямої є алгоритм Брезенхейма. Використаємо цей алгоритм для визначення координат (x, y) точок LOS.

Для визначення координат z точок LOS використаємо рівняння прямої (1).

$$z(x, y) = z_1 + \frac{(z_2 - z_1) \cdot \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2}}{L}, \quad (1)$$

де: $L = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$;

(x_1, y_1, z_1) – координати розміщення спостерігача;

(x_2, y_2, z_2) – координати точки, видимість якої перевіряється.

Оскільки зазвичай в околі вежі спостереження забезпечується хороша видимість (що додатково обумовлюється висотою вежі) аналіз LOS будемо здійснювати від точки p_2 до p_1 .

При цьому зростає ймовірність більш раннього виявлення перешкоди, внаслідок чого зменшуватиметься час обробки.

Проведемо порівняння швидкості визначення областей видимості на місцевості Білгород-Дністровської ділянки кордону запропонованого алгоритму з алгоритмом, який використовується в GRASS GIS. Для об'єктивної оцінки використаємо єдиний набір даних висот рельєфу (на основі проекту «Shuttle Radar Topography Mission» - SRTM) і спільну обчислювальну платформу (процесор Intel Atom N280, оперативна пам'ять 1Гб DDR2). Такий вибір характеристик персонального комп'ютера обумовлений потребою сповільнення роботи програмного коду з метою кращого порівняння часових характеристик. Результати роботи досліджуваних алгоритмів для різних розташувань спостерігача (вежі СОЕС) представлені в табл. 1.

Таблиця 1

№ розміщення	Час роботи алгоритму GRASS GIS, с	Час роботи запропонованого алгоритму, с
1	83	30
2	74	25
3	73	30
4	86	26
5	77	23
6	89	28
7	86	39
Середній час	81	29

З результатів представлених у табл. 1 випливає, що для кожного варіанта розміщення спостерігача запропонований алгоритм визначення видимості забезпечує більшу швидкість в порівнянні з алгоритмом в ГІС GRASS GIS. Зростання швидкості складає від 2-х до понад 3-х разів. Середнє зменшення витраченого на обчислення видимості часу становить майже 65%. Можна припустити що таке зростання швидкості обумовлене значним зниженням точності (в алгоритмі GRASS GIS використовується білінійна інтерполяція). Однак результати порівняння визначених цими алгоритмами областей видимості свідчать про їх схожість (рис. 2).



Рис. 2. Порівняння областей видимості місцевості

На рис. 2 (а) представлено область видимості визначену з використанням запропонованого алгоритму. На рис. 2 (б) показана область видимості визначена з застосуванням ГІС GRASS GIS. Результати попіксельного порівняння свідчать про понад 70% тотожності цих областей.

З метою визначення впливу вибору початкової точки оригінальний алгоритм було модифіковано у двох варіантах. В першому аналіз LOS проводився завжди від точки з більшою висотою, у другому від точки з меншою висотою.

Результати вимірювань часу роботи оригінального і модифікованих алгоритмів представлені в табл. 2.

Таблиця 2

№ розміщення	Час роботи запропонованого алгоритму, с	Час роботи модифікованого алгоритму (від $\max h$ до $\min h$), с	Час роботи модифікованого алгоритму (від $\min h$ до $\max h$), с
1	30	27	31
2	25	30	28
3	30	31	36
4	26	38	26
5	23	13	30
6	28	39	29
7	39	48	40
Середній час	29	32	31

Як впливає з табл. 1 статистично перешкоди LOS для одних ділянок місцевості здійснюються більш часто ближче до точки з максимальною висотою (що обумовлює менший час роботи), для інших ділянок менший час забезпечується аналізом LOS від точки з мінімальною висотою до точки з максимальною висотою. Однак в більшості випадків краща швидкодія реалізується алгоритмом без модифікації, в якому перевірка LOS проводиться від точки на місцевості до вежі спостереження. Про це свідчить середній час по всім варіантам, який для цього алгоритму є кращим.

Слід відмітити, що швидкодія запропонованого алгоритму суттєво обмежується потребою обчислення (1). Інші операції, які реалізуються в алгоритмі є достатньо простими і виконуються швидко. З метою подальшого збільшення швидкодії пропонується замінити обчислення (1) процедурою контрольованої лінійної зміни висоти за приростами, як це робиться в алгоритмі Брезенхейма. Фактично за основу пропонується взяти алгоритм Брезенхейма для растрування відрізків прямих не на площині, а в 3D просторі. При такому підході замість двох отримуються відразу 3 координати і потреба в обчисленні z за (1) відпадає. Результати порівняння швидкодії цього алгоритму з алгоритмом, який ґрунтується на раструванні в 2D просторі з подальшим обчисленням z за (1) наведені в табл. 3.

Таблиця 3

№ розміщення	Час роботи алгоритму з раструванням на площині, с	Час роботи алгоритму з раструванням в 3D просторі, с
1	30	13
2	25	10
3	30	15
4	26	8
5	23	6
6	28	11
7	39	16
Середній час	29	11

Однак існують можливості для подальшого зменшення часу на визначення областей видимості. У випадку, коли з використанням базового методу 3D растрування на основі алгоритму Брезенхейма визначено, що видимість певної точки є недоступною можливо додатково визначити де зустрілась перепона (ближче до початкової точки чи до кінцевої). Тоді при аналізі LOS в околі такої точки можливо використати цю інформацію і починати растрування LOS з тої точки, до якої ймовірно ближче знаходиться перепона. Результати отримані з використанням такого алгоритму у порівнянні з двома попередніми швидкими

алгоритмами наведені у табл. 4.

Таблиця 4

№ розміщення	Час роботи алгоритму з раструванням на площині, с	Час роботи алгоритму з раструванням в 3D просторі, с	Час роботи модифікованого алгоритму з раструванням в 3D просторі, с
1	30	13	6
2	25	10	9
3	30	15	14
4	26	8	8
5	23	6	4
6	28	11	10
7	39	16	15
Середній час	29	11	9

Слід відмітити, що наведені в табл. 4 результати показують переваги запропонованого підходу. Для всіх варіантів розміщення вежі СОЕС останній запропонований алгоритм показав найкращу швидкість. Однак природно, що цей алгоритм забезпечує кращі результати для варіантів розміщення вежі при яких області невидимості є значними. Щодо розглянутих випадків це варіанти №1 та №5 для яких покращення становить 54% та 33% відповідно. Для інших варіантів розташування вежі приріст швидкості є менш вагомим і складає 6-10%. І лише в одному варіанті розміщення вежі (№4) час не змінився. Це пояснюється тим, що у цьому випадку область видимості була значною і тому прискорення за рахунок адаптивного визначення невидимих ділянок не відбулось.

На сьогоднішній день, однією з найкращих геоінформаційних систем є ГІС ArcGIS виробництва компанії ESRI. В останніх версіях цієї ГІС звичайно реалізовані найкращі алгоритми вирішення багатьох задач геообробки.

Проведемо порівняння швидкості запропонованих алгоритмів з швидкістю алгоритму визначення областей видимості (viewshed) в ArcGIS (табл. 5). Для проведення цих досліджень використана інша, більш потужна обчислювальна платформа, тому результати вимірювань наведених у табл.5 суттєво відрізняються від даних у табл.1-4 і їх порівняння доцільне лише в межах цієї таблиці.

Таблиця 5

№ розміщення	Час роботи алгоритму з раструванням на площині, с	Час роботи алгоритму з раструванням в 3D просторі, с	Час роботи модифікованого алгоритму з раструванням в 3D просторі, с	Час роботи алгоритму viewshed в ArcGIS, с
1	5	3	2	7
2	3	2	1	6
3	4	2	1	7
4	3	1	1	6
Середній час	3,75	2	1,25	6,5

Як впливає з табл. 5, програмний код процедури визначення взаємної видимості в ГІС ArcGIS для розглянутих варіантів розташування вежі СОЕС забезпечує меншу швидкість в порівнянні з усіма іншими алгоритмами. Серед цих алгоритмів очікувано гірша швидкість растрування на площині з обчисленням координати z за (1). Дещо менший час витрачається алгоритмом з швидким раструванням в 3D просторі. Найкращим очікувано

виявився алгоритм швидкого 3D растрування з адаптацією до особливостей невидимих ділянок.

Висновки. Таким чином, за результатами проведеного дослідження в роботі запропоновані алгоритмічно реалізовані методи визначення видимих з веж СОЕС ділянок місцевості. Програмна реалізація запропонованих алгоритмів в порівнянні з відповідним програмним кодом у інших ГІС (GRASS GIS, ArcGIS) забезпечує більшу швидкість обробки інформації. Найкращим з запропонованих виявився метод 3D растрування LOS на основі алгоритму Брезенхейма з адаптацією до особливостей невидимих ділянок.

Напрямом подальших досліджень є вирішення оптимізаційного завдання розстановки веж СОЕС.

ЛІТЕРАТУРА:

1. R.viewshed - Computes the viewshed of a point on an elevation raster map. [Electronic resource]. Access mode: <https://grass.osgeo.org/grass73/manuals/r.viewshed.html>.
2. Using Viewshed and Observer Points for visibility analysis. [Electronic resource]. Access mode: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/using-viewshed-and-observer-points-for-visibility.htm>.
3. Comparison of viewshed algorithms on regular spaced points / [K. Branco, Z. Borut et al.] // Conference on Computer Graphics : Proceedings of the 18th Spring Conference, Budmerice, Slovakia — April 24 - 27, 2002 : proceedings. ACM New York, 2002, – P. 177–183.
4. Parallel algorithm for viewshed analysis on a modern GPU / [Y. Chongjun, C. Zhuo, Y. Xiaojing, G. Hantao] // International Journal of Digital Earth. – 2011. – Vol. 4, – P. 471-486.
5. A parallel computing approach to viewshed analysis of large terrain data using graphics processing units / [Y. Zhao, A. Padmanabhan, S. Wang] // International Journal of Geographical Information Science. – 2013. – Vol. 27, – P. 363-384.
6. Simultaneous computation of total viewshed on large high resolution grids / [S. Tabik, E. Zapata, L. Romero] // International Journal of Geographical Information Science. – 2013. – Vol. 27, – P. 804-814.

Рецензент: к.т.н., с.н.с. Мірошніченко О.В., начальник відділу наукових методологічних розробок та високих технологій начальника науково-дослідного центру, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

к.т.н., доц. Рачок Р.В.

АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ ВИДИМОСТИ С БАШЕН СИСТЕМЫ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

В охране государственной границы Украины используется система оптико-электронного наблюдения. Рациональное расположение башен, необходимых для повышения эффективности функционирования этой системы. Эта эффективность существенно зависит от рассматриваемого рельефа. Определение просмотров является сложной вычислительной задачей. Решение проблемы оптимизации размещения башен требует много просмотров. Все это делает поиск алгоритма для быстрого вычисления области видимости реальной задачей.

Рассмотрены алгоритмы определения оптико-электронных систем видеонаблюдения на основе информации о местности. Автор провел сравнение их результатов. В статье определены подходы к быстрому вычислению рассматриваемой области.

Для получения информации о рельефе мы использовали данные из проекта Shuttle Radar Topography Mission. Исследования проводились на участках в Одесской области.

Для ускорения алгоритма можно пренебречь интерполяцией рельефа и использовать исходные данные с исходным разрешением. В этой работе показано, что это не является существенным уменьшением точности областей видимости. Интерполяция ландшафта замедляет работу алгоритма определения просмотров в GRASS GIS.

В работе предложен быстрый метод определения областей действия, основанный на использовании алгоритма Брезенхейма. Подход путем создания линии прямой видимости в 2D пространстве. Координата z точек линии визирования определяется по линейной зависимости высоты по этой линии. Скорость этого алгоритма оказалась выше, чем в GRASS GIS. В статье показана возможность увеличения производительности при создании линии визирования в

трехмерном пространстве. Для построения раstra использовался соответствующий алгоритм Брезенхейма в 3D пространстве. Сравнение скорости обработки информации показало существенное преимущество предложенного метода.

В статье показана возможность увеличения скорости алгоритма на основе адаптации к ландшафту. Если не взаимное представление двух точек на земле, предлагается определить близость препятствий к начальной или конечной точкам. Кроме того, эта информация может быть использована для ускорения алгоритма при определении видимости в соседних точках. Использование этого подхода обеспечило максимальную скорость обработки информации.

При сравнении производительности использовались современные географические информационные системы: GRASS GIS, ArcGIS. Предлагаемые методы алгоритмически реализуются в программном обеспечении. Самый высокий уровень скорости - это быстрый алгоритм построения 3D-растровой линии прямой видимости с адаптацией к невидимым областям. Программная реализация этого алгоритма показала значительно большую производительность по сравнению с географическими информационными системами Grass GIS, ArcGIS.

Предлагаемые подходы могут использоваться в задачах, требующих быстрого определения областей видимости. Примерами таких задач являются: определение эффективности систем оптико-электронного наблюдения, оптимизация размещения наблюдательных вышек.

Ключевые слова: система оптико-электронного наблюдения, области видимости, рельеф местности.

Ph.D. Rachok R.V.

THE ALGORITHMS DEFINING THE REGIONS OF VISIBILITY OF THE TOWERS SYSTEM OPTO-ELECTRONIC SURVEILLANCE

In the protection of the state border of Ukraine are used a system of optical-electronic surveillance. The rational arrangement of towers required for increase of efficiency of functioning of this system. This efficiency essentially depends on the viewshed given relief. Definition of viewshed is a challenging computational task. The solution to the optimization problem of placing towers requires multiple viewshed. All of this makes the searching of the algorithm for fast computation of the visibility area is the actual task.

The paper considers the algorithms of definition of viewshed scope opto-electronic surveillance systems based on information about the terrain. The author conducted a comparison of their performance. The article identifies approaches for a rapid calculation of viewshed scope. For information about the terrain, we used data from the project Shuttle Radar Topography Mission. Studies were conducted on plots in Odessa region. To speed up the algorithm it is possible to neglect the interpolation of the terrain and use the original data with the original resolution. In this work is shown that this is no significant reduction in the accuracy of the viewshed scopes. Interpolation of the terrain slows down the functioning of the algorithm of determining the viewshed in GRASS GIS. The paper proposed a fast method for the determination of scopes based on the use of the algorithm Bresenham. The approach by generating a line-of-sight in a 2D space. The z coordinate of the points of the line of sight determined on the basis of the linear dependence of the height along the this line. The speed of this algorithm was found to be greater than in GRASS GIS. The paper shows the possibility of increasing the performance when generating the line of sight in 3D space. To build the raster used the corresponding algorithm Bresenham in 3D space. Comparison of speed of information processing showed a significant advantage of the proposed method.

The paper shows the possibility of increasing the speed of the algorithm based on adaptation to the terrain. If not mutual viewshed of two points on the ground, offered to determine the proximity of obstacles to starting or ending points. Further, this information can be used to accelerate the algorithm in determining the visibility at the neighboring points. The use of this approach provided the greatest speed of information processing. When comparing performance used modern geographic information systems: GRASS GIS, ArcGIS. The proposed methods are implemented algorithmically in software. The highest rate of speed is provided a fast algorithm for constructing 3D raster line-of-sight with the adaptation to the invisible areas. The software implementation of this algorithm showed significantly greater performance compared to the geographic information systems Grass GIS, ArcGIS.

Proposed approaches can be used in tasks that require rapid determination of viewshed scopes. Examples of such tasks are: determination of the efficiency of the systems opto-electronic surveillance, optimization of the placement of observation towers.

Keywords: system of optical-electronic surveillance, viewshed scope.