

А.Г. Батракова, І.С. Гунько, Є.В. Дорожко, Г.С. Саркісян, С.М. Урдзік

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

## ОСОБЛИВОСТІ ПОЄДНАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЛАЗЕРНОГО 3D-СКАНУВАННЯ З РІЗНИХ СТАНЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ МАГНІТНИХ СФЕР

У статті розглядаються особливості лазерного 3D-сканування з використанням магнітних сфер, розташованих у різних місцях, з аналізом їх видимості. Автоматична прив'язка та зшивання сканів здійснювалися програмою Trimble RealWorks. Використання магнітних сфер дозволяє отримати точні та надійні результати поєднання результатів сканування з декількох станцій.

**Ключові слова:** лазерне 3D-сканування, магнітні сфери, алгоритм зшивання, хмара точок, Trimble RealWorks.

### Постановка проблеми

Лазерне 3D-сканування в сучасному світі стає все більш важливою технологією, яка відкриває безмежні можливості для отримання точних геометричних параметрів різноманітних об'єктів. Тож, завдяки своїй ефективності та точності, ця технологія стає незамінною у таких галузях, як вишукування, супровід будівництва, виконавче знімання і геодезичний моніторинг тощо.

Однак, незважаючи на безліч переваг, які пропонує лазерне сканування, існує обмеження, яке може суттєво вплинути на результати, а саме: алгоритм зшивання окремих сканів у єдину хмару точок. Більшість сканерів не мають вбудованих можливостей автоматичного зшивання результатів сканування з декількох станцій. У зв'язку з цим, для отримання єдиної хмари точок використовуються альтернативні методи [1].

Сучасні компанії, що виробляють лазерні сканери, пропонують різноманітні моделі з унікальними технічними характеристиками. Правильний вибір функціональних можливостей сканера важливий при виконанні різних технологічних завдань протягом усього процесу: від зйомки до отримання результату. Наприклад, функціональні можливості сканера Trimble TX6, що використовується у цій роботі, дозволяють автоматично зшивати результати сканування з декількох станцій без використання додаткового обладнання, але це не є загальним стандартом для всіх пристроїв цього типу. Деякі моделі сканерів потребують використання спеціальних магнітних сфер для забезпечення точності зшивання [2].

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Технічні параметри лазерних сканерів, як-от точність вимірювань, максимальна дальність сканування та швидкість сканування, варіюються залежно від типу об'єктів, які потрібно сканувати, та необхідних

результатів. Використання магнітних сфер стає важливим аспектом для забезпечення точності сканування. Вони полегшують процес зшивання даних з різних станцій та дозволяють автоматизувати пошук точок зшивання, що спрощує обробку отриманих даних.

Останні дослідження в галузі лазерного 3D-сканування дозволили встановити переваги та недоліки використання магнітних сфер [3–7]. Перевагою є можливість використання цих сфер як з'єднувальних точок для об'єднання декількох результатів сканування з різних станцій в одну хмару точок в єдиній системі координат. Алгоритм, що вбудований у програмне забезпечення Trimble RealWorks, автоматично визначає магнітні сфери в хмарі точок і за допомогою відповідної трансформації з'єднує два суміжних результати сканування з різних станцій за умови наявності більше ніж трьох ідентичних сфер. Окрім того, наявність сфер із вбудованим ретрорефлектором дозволяє одночасно визначати положення за допомогою геодезичних тотальних станцій [8].

Однак виникає проблема з поведінкою сканера на ребрах або частинах, що виступають (рис. 1, 2) [3].

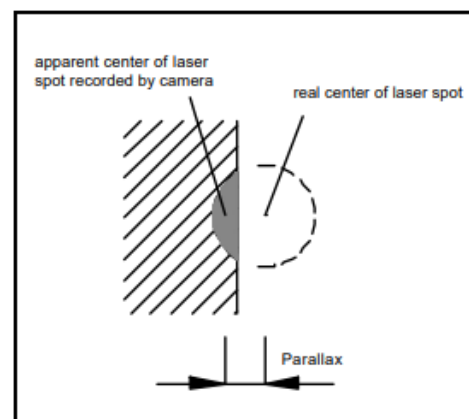


Рис. 1. Наявність паралакса, що призводить до неправильних точок на краях [3]

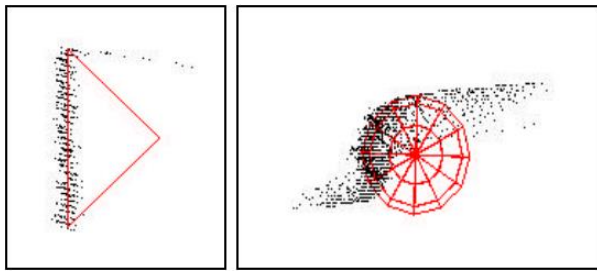


Рис. 2. Результат лазерного сканування при розташуванні сканера зліва від наведених зображень.  
Зліва: на гострому краї.  
Праворуч: на кулі на великій відстані від сканера [3]

Коли лазерний промінь переходить через таке ребро, не вся точка відображається, а лише її невелика частина. Камера реєструє цю частину точки та інтерпретує її як цілу точку.

Це призводить до створення багатьох помилкових точок, які зміщені в напрямку лазера. Після сканування ці точки доводиться видаляти вручну з хмари точок, що є досить довготривалим і трудомістким, оскільки кожна 3D-точка виглядає однаково і важко ідентифікувати неправильно розміщені точки та забезпечити збереження потрібних точок.

### Мета статті

Мета статті полягає у дослідженні особливостей поєднання результатів лазерного 3D-сканування з декількох станцій з використанням магнітних сфер. У статті розглянуто аналіз технічних параметрів лазерного сканера Trimble TX6 [9], варіації у використанні магнітних сфер для забезпечення точності поєднання результатів сканування, а також визначення переваг та недоліків цього підходу.

### Виклад основного матеріалу

Для проведення експерименту було обрано закрите спортивне приміщення з довжиною 25 м та шириною 15 м. Приміщення для пошукового сканування обрано з урахування його розмірів, що дозволяють виконувати сканування з декількох станцій з відомими відстанями. На різних поверхнях приміщення були розміщені магнітні сфери з максимальним відображенням реальних умов (рис. 3). Розташування сфер передбачено на різних поверхнях та під різним кутом, що дозволяє вивчити, як на результати сканування сканером Trimble TX6 вплинуть різні умови, зокрема освітлення та кут відбиття променів лазера.

На рис. 4 зображено детальну схему розміщення магнітних сфер, а також позначено місця розташування станцій, з яких проведено сканування. Усього було використано дві станції.

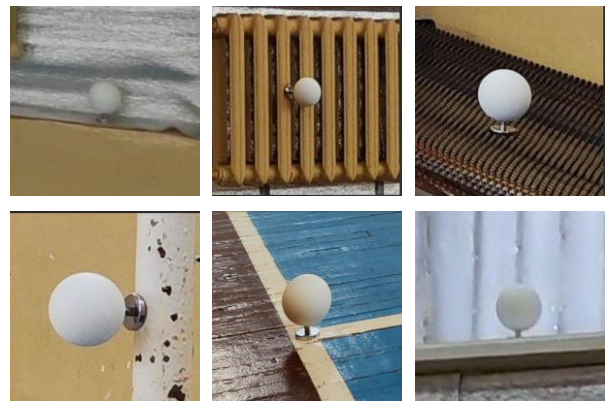


Рис. 3. Приклади розміщення магнітних сфер

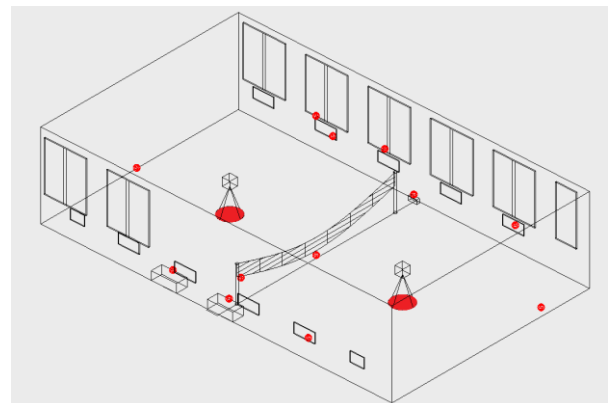
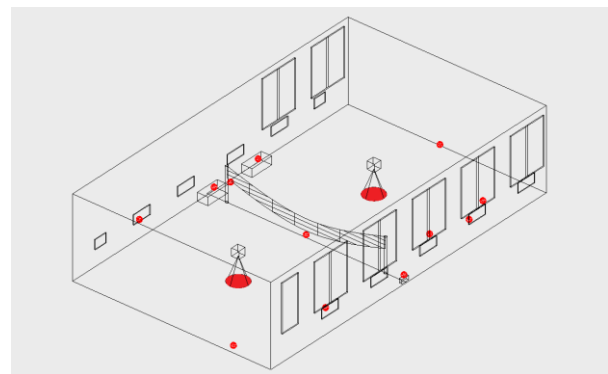


Рис. 4. Схема розташування магнітних сфер

Сканування було проведено на третьому рівні точності, тривалістю 20 хвилин на кожному зі станцій (19 хвилин – сканування; 1 хвилина – створення знімка панорами). При третьому рівні точності, відповідно до параметрів сканера Trimble TX6, на перших 30 м розмір кроку точок становить 5,7 мм. Зазначений рівень точності дозволяє отримати до 555 мільйонів точок зі станції, що відображає обсяг інформації достатній для подальшого аналізу та обробки даних.

Обробку результатів сканування з двох станцій знімання проведено за допомогою програмного забезпечення Trimble RealWorks. Це програмне забезпечення призначене для обробки великих обсягів

даних і відзначається високою простотою використання. Trimble RealWorks має інтуїтивно зрозумілий і простий, покроковий механізм роботи при вирішенні складних завдань щодо управління даними і їх аналізі та обробці, що дозволяє отримати результати високої точності [10, 11]. Автоматичне виділення марок (магнітні сфери) в даних сканування та зшивка сканів є однією з ключових функцій програми. Крім того, програма забезпечує швидкий аналіз і редагування марок за допомогою інструмента Target Analyzer Tool. Цей інструмент дозволяє швидко виявляти та редагувати марки на результатах сканування, що сприяє полегшенню процесу обробки даних та збільшує ефективність роботи з програмою (рис. 5).

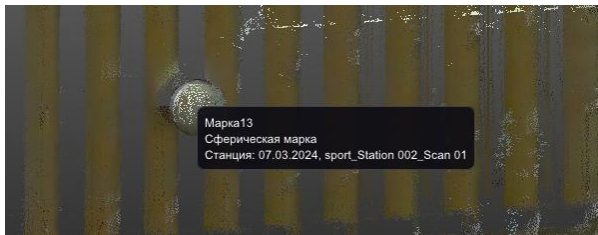


Рис. 5. Виявлена марка з автоматичним призначенням номера

У табл. 1 представлено консолідовані дані щодо прив'язки сфер, а на рис. 6 наведено схематичне зображення з відображенням автоматично призначених номерів магнітних сфер.

Аналізуючи дані табл. 1 та рис. 6, визначено, що виконано прив'язку результатів сканування з двох станцій шляхом розпізнавання 8 магнітних сфер з 12-ти. Інші 4 сфери теж були розпізані сканером, але тільки з одного боку.

Таблица 1

Дані зшивання хмари точок

№ сфери	Прив'язка (+ / -)	Кількість точок з 1 станції	Кількість точок з 2 станції
1	+	3925	3706
2	+	6923	6814
3	+	1902	3807
4	+	2955	2926
5	+	751	6771
6	+	1118	4398
7	+	3215	3014
8	+	1302	4274
9	-	5072	-
10	-	5081	-
11	-	5033	-
12	-	-	4589

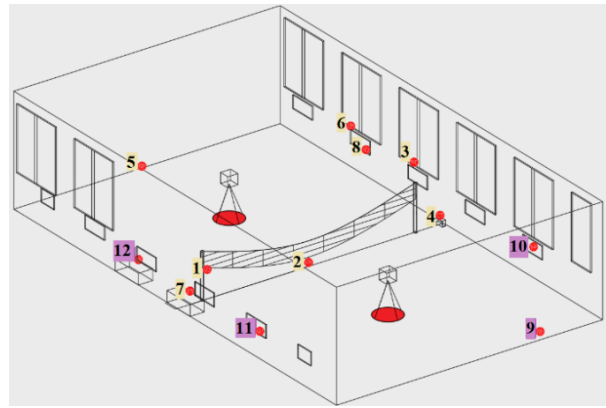


Рис. 6. Нумерація магнітних сфер

Проаналізувавши зшиту хмару точок, встановлено, що повноцінному розпізнаванню магнітних сфер з двох боків завадила перешкода у вигляді волейбольної сітки, зважаючи на саме розміщення сфер на певному (занизькому) рівні висоти. Загалом схема зшивання показана на рис. 7, а повноцінна хмара точок усього приміщення наведена на рис. 8.

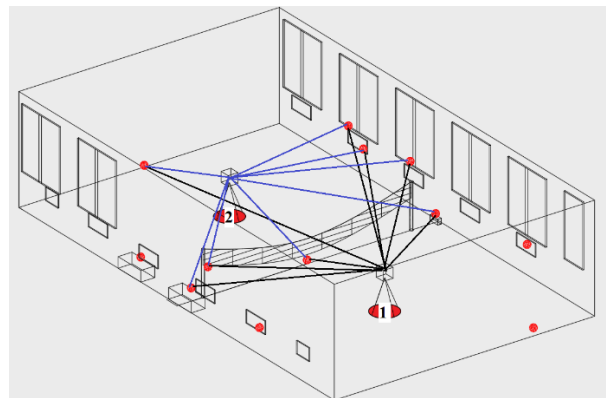


Рис. 7. Схема зшивання за марками

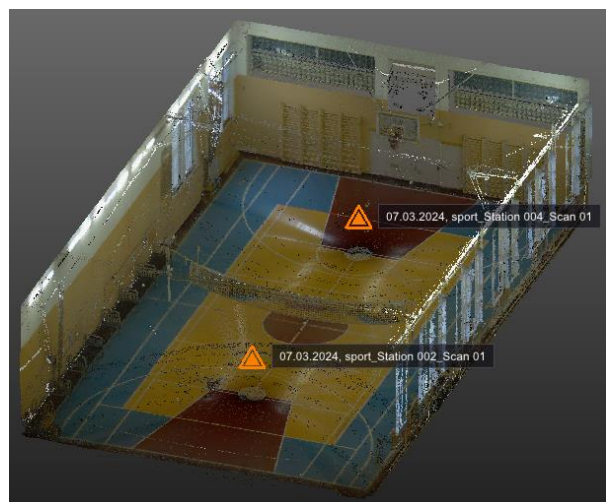


Рис. 8. Зшита хмара точок закритого приміщення

## Висновки

Лазерне 3D-сканування з використанням магнітних сфер може бути вкрай ефективним і надійним методом отримання точних геометричних параметрів різноманітних об'єктів. Для забезпечення задовільного результату сканування необхідно [12]:

- розташовувати магнітні сфери на об'єктах або місцях, які будуть видимі з усіх точок зйомки. Це допоможе забезпечити оптимальну видимість сфер для кожного сканування;
- розташовувати сфери на різних висотах та площинах об'єкта, особливо якщо об'єкт має складну геометрію або велику площу;
- уникати розташування сфер поруч із перешкодами, як-от стіни, стовпи або інші об'єкти, які можуть перешкоджати видимості для сканера;
- розташовувати сфери на різних відстанях від сканера, щоб отримати оптимальне покриття об'єкта;
- використовувати достатню кількість сфер для забезпечення надійної прив'язки та зшивання знімків, але не перевантажуючи об'єкт зайвими сферами. Наприклад, для зйомки приміщення, розглянутого у цій статті, достатньо 3 сфери;
- переконатися, що сфери розташовані стало в просторі і виключити можливість їх зміщення під час сканування.

## Література

1. Тревого І., Четверіков Б., Кілару В., Ванчура О. Інноваційні цифрові технології і нова техніка на «INTERGEO – 2018». Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. Видавництво Львівської політехніки. 2019. Вип 1 (37). С. 11-15.
2. Адаменко О.В., Анненков А.О., Медведський Ю.В., Циценко О.В., Гаврилов Є.В. Дослідження точності визначення координат сфер лазерним сканером FARO Focus S 120. Просторовий розвиток. 2023. Вип. 5. С. 240-257.
3. Boehler, Wolfgang, Guido Heinz, and Andreas Marbs. "The potential of non-contact close range laser scanners for cultural heritage recording" *International archives of photogrammetry remote sensing and spatial information sciences* 34.5/C7. 2002. P. 430-436.
4. Дорошенко Ю.О., Нецадим В.О. Сценарій отримання початкової інформації про рельєфну поверхню елементу фасадного декору за допомогою лазерного сканування. Теорія та практика дизайну: зб. наук. праць. Архітектура та будівництво. Київ: НАУ, 2022. Вип. 25. С. 58-65.
5. Gikas, Vassilis. «Three-dimensional laser scanning for geometry documentation and construction management of highway tunnels during excavation» *Sensors* 12.8. (2012). P. 11249-11270.
6. Shusheng Bi, Chang Yuan, Chang Liu, Jun Cheng, Wei Wang, Yueri Cai. A survey of low-cost 3D laser scanning technology. *Applied Sciences*, 2021, 11 (9). P. 3938.
7. Hess Mona. 3D laser scanning. *Digital techniques for documenting and preserving cultural heritage*, 2017. P. 199-206.
8. NASA створила потужні лазерні для підвищення точності GPS: веб-сайт. URL: <https://psm7.com/uk/news/nasa-sozdala-moshhnye-lazery-dlya-povysheniya-tochnosti-gps.html> (дата звернення: 01.05.2024).
9. Trimble TX6/TX8. 3D laser scanner: user manual. 2017. 116 с.
10. Trimble RealWorks: веб-сайт. URL: <https://geospatial.trimble.com/en/products/software/trimble-realworks> (дата звернення: 01.05.2024).
11. Куліковська О.Є., Атаманенко Ю.Ю. Перспективи використання програм обробки даних лазерного сканування в картографуванні ДТТ. *Інженерна геодезія*. 2015. Вип. 62. С. 91-97.
12. Шульц Р. Розрахунок параметрів наземного лазерного сканування. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2010. Вип. 1(19). С. 166-169.

## References

1. Trevogo, I., Chetverikov, B., Kilaru, V., & Vanchura, O. (2019). INNOVATIVE DIGITAL TECHNOLOGIES AND NEW TECHNIQUES AT «INTERGEO–2018». *Modern achievements of geodetic science and production*, (1), 11-15 [in Ukrainian]
2. Adamenko, O., Annenkov, A., Medvedskyi, Yu., Tsykolenko, O., & Gavrillov, E. (2023). Investigation of the accuracy of determining the coordinates of spheres using the FARO Focus S 120 laser scanner. *Spatial development*, (5), 240-257 [in Ukrainian]
3. Boehler, W., Heinz, G., & Marbs, A. (2002). The potential of non-contact close range laser scanners for cultural heritage recording. *International archives of photogrammetry remote sensing and spatial information sciences*, 34 (5/C7), 430-436.
4. Doroshenko, Y., & Neshchadym, V. (2022). Scenario of complex 3d modeling of the relief surface of the facade decoration element based on laser scanning data. *Theory and practice of design*, (25), 58-65 [in Ukrainian]
5. Gikas, V. (2012). Three-dimensional laser scanning for geometry documentation and construction management of highway tunnels during excavation. *Sensors*, 12 (8), 11249-11270.
6. Bi, S., Yuan, C., Liu, C., Cheng, J., Wang, W., & Cai, Y. (2021). A survey of low-cost 3D laser scanning technology. *Applied Sciences*, 11 (9), 3938.
7. Hess Mona. 3D laser scanning. *Digital techniques for documenting and preserving cultural heritage*, 2017, 199-206.
8. NASA created powerful lasers to increase GPS accuracy. Retrieved from <https://psm7.com/uk/news/nasa-sozdala-moshhnye-lazery-dlya-povysheniya-tochnosti-gps.html> [in Ukrainian]
9. Trimble TX6/TX8. (2017). 3D laser scanner: user manual.
10. Trimble RealWorks. (n.d.). Retrieved from <https://geospatial.trimble.com/en/products/software/trimble-realworks> [in Ukrainian]
11. Kulikovska, O. Ye., & Atamanenko, Yu. Yu. (2015). Prospects for the use of laser scanning data processing programs in road accident mapping. *Engineering geodesy*, 62, 91-97 [in Ukrainian]
12. Schultz, R. (2010). Calculation of ground laser scanning parameters. *Modern achievements of geodetic science and production*, 1(19), 166-169 [in Ukrainian]

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.О. Бугаєвський, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна.

**Автор:** БАТРАКОВА Анжеліка Геннадіївна доктор технічних наук, професор кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою Харківський національний автомобільно-дорожній університет

E-mail – [agbatr@ukr.net](mailto:agbatr@ukr.net)

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4067-4371>

**Автор:** ГУНЬКО Ірина Сергіївна  
асистент кафедри проектування доріг, геодезії і  
землеустрою  
Харківський національний автомобільно-дорожній  
університет  
E-mail – [irinagunko98@gmail.com](mailto:irinagunko98@gmail.com)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2562-2175>

**Автор:** ДОРОЖКО Євген Вікторович  
кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри  
проектування доріг, геодезії і землеустрою  
Харківський національний автомобільно-дорожній  
університет  
E-mail – [evgeniy.dorozhko@gmail.com](mailto:evgeniy.dorozhko@gmail.com)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2894-2131>

**Автор:** САРКІСЯН Гор Саркісович  
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри  
проектування доріг, геодезії і землеустрою  
Харківський національний автомобільно-дорожній  
університет  
E-mail – [gorsar14@gmail.com](mailto:gorsar14@gmail.com)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2343-4461>

**Автор:** УРДЗІК Сергій Миколайович  
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри  
проектування доріг, геодезії і землеустрою  
Харківський національний автомобільно-дорожній  
університет  
E-mail – [urdzik@khadi.kharkov.ua](mailto:urdzik@khadi.kharkov.ua)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6914-1221>

### FEATURES OF COMBINING THE RESULTS OF 3D LASER SCANNING FROM DIFFERENT STATIONS USING MAGNETIC SPHERES

A. Batrakova, I. Hunko, Ye. Dorozhko, H. Sarkisian, S. Urdzik

Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine

*3D laser scanning is becoming an increasingly important technology in the modern world, opening up endless possibilities for obtaining accurate geometric parameters of various objects. So, due to its efficiency and accuracy, this technology is becoming indispensable in such industries as surveying, construction support, executive surveying, geodetic monitoring, and others.*

*However, despite the many advantages of laser scanning, it has a limitation that can significantly affect the results, namely the algorithm for stitching individual scans into a single-point cloud. Most scanners do not have built-in capabilities to stitch together scan results from multiple stations automatically. Therefore, obtaining a single-point cloud requires using alternative methods.*

*Modern laser scanner companies offer a variety of models with unique technical characteristics. The right choice of scanner functionality is crucial when performing various technological tasks throughout the entire process, from scanning to obtaining the result. The technical parameters of laser scanners, such as measurement accuracy, maximum scanning range, and scanning speed, vary depending on the type of objects scanned and the necessary results. The use of magnetic spheres becomes an essential aspect of ensuring scanning accuracy. They facilitate stitching data from different stations and allow automated search for stitching points, simplifying data processing.*

*An algorithm built into Trimble RealWorks software automatically detects magnetic spheres in the point cloud. It uses an appropriate transformation to join two adjacent scans from different stations if more than three identical spheres are present.*

*The article aims to study the peculiarities of combining the results of 3D laser scanning from several stations using magnetic spheres. It discusses the analysis of the technical parameters of the Trimble TX6 laser scanner, variations in the use of magnetic spheres to ensure the accuracy of combining scanning results, and the advantages and disadvantages of this approach.*

**Keywords:** 3D laser scanning, magnetic spheres, stitching algorithm, point cloud, Trimble RealWorks.