

# Planificación de posicionamiento satelital multiconstelación en entornos urbanos

---

## Mission planning with multiconstellation for urban environments

Michael S. Puentes<sup>1a</sup>, Diego Rueda<sup>1b</sup>, Raúl Ramos<sup>2</sup>, Carlos J. Barrios<sup>1c</sup>

<sup>1</sup>Grupo de investigación computo avanzado y a gran escala (CAGE), Facultad de Fisicomecánicas, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Correos electrónicos: <sup>a</sup> michael2168234@correo.uis.edu.co,

<sup>b</sup> diego2188137@correo.uis.edu.co, <sup>c</sup> cbarrios@uis.edu.co

<sup>2</sup>Universidad de Antioquia, Colombia. Correo electrónico: raul.ramos@udea.edu.co

Recibido: 22 abril, 2018. Aceptado: 28 enero, 2019. Versión final: 29 marzo, 2019.

### Resumen

Un posicionamiento mediante un servicio GNSS (sistema global de navegación por satélite) solo es posible con la recepción simultánea de la señal de al menos cuatro satélites. La probabilidad de pérdida de visibilidad de los satélites GNSS en entornos urbanos es especialmente crítica por los elementos arquitecturales propios de una ciudad, y esto puede imposibilitar la localización de un receptor. Esto será crucial para ciertas aplicaciones, por ejemplo, un vehículo transportador de valores que requiera un monitoreo continuo de su posición. Este trabajo describe un método de planificación de rutas urbanas en función de las necesidades de posicionamiento, integrando el cálculo de la posición de los satélites a través de la mecánica orbital, con imágenes de Google Street View y segmentación semántica con técnicas de *Deep Learning*. De esta manera, predecir la relación de visibilidad entre un observador y los satélites de un servicio GNSS.

**Palabras clave:** planificación de rutas; entornos urbanos; *Deep Learning*; posicionamiento satelital.

### Abstract

Geolocation through a GNSS service (Global Navigation Satellite System) is only possible with the simultaneous reception of the signal from at least four satellites. The probability of loss of visibility of GNSS satellites in urban environments is especially critical due to the architectural elements typical of a city, making it impossible to locate a receiver. This will be crucial for certain applications, for example, an armored car carrying valuables requires continuous position monitoring. This paper describes a method for a mission planning in urban environments, according to the needs of positioning. Integrating the calculation of satellites' position through orbital mechanics, with Google Street View images and semantic segmentation with Deep Learning techniques. In this way, establish the visibility relationship between an observer and the satellites of a GNSS service.

**Keywords:** satellite positioning; urban environment; Deep Learning; mission planning.

### 1. Introducción

El sistema de posicionamiento global se ve reducido en entornos urbanos por las altas edificaciones o las calles

estrechas [1]. Esto ocurre por la obstrucción de la señal, que es ocasionada por las edificaciones presentes. Este posicionamiento satelital en entornos urbanos es usado para el seguimiento de vehículos con receptores GNSS

que requieran un monitoreo continuo. Un vehículo con una carga de valor que requiera un seguimiento satelital con su posicionamiento no debe perderse del monitoreo dentro de la ciudad; unos metros de falta de seguimiento pueden significar una gran pérdida [2]. En la actualidad se han desplegado diferentes constelaciones de satélites para ofrecer servicios de posicionamiento. Fuera de la constelación NAVSTAR-GPS<sup>1</sup>, que es la más conocida, Rusia ofrece GLONASS, la cual es una constelación totalmente desplegada para obtener posicionamiento global. Por otro lado, la unión europea y China han puesto en funcionamiento Galileo y Beidou respectivamente, las cuales, aunque funcionales, no están totalmente desplegadas<sup>2</sup>. El término GNSS (*Global Navigation Satellite System*) se refiere a todas las constelaciones en general [3]. En la actualidad, pocos receptores GNSS tienen la capacidad de consignar señales multiconstelación y así lograr más disponibilidad al momento de calcular posicionamiento por utilizar señales de diferentes constelaciones [4]. Este trabajo propone un método para calcular la disponibilidad de satélites en un tiempo programado a lo largo de una ruta establecida en un entorno urbano denso. Para ello, se integran métodos de *Deep Learning* con segmentación de imágenes de Google Street View, y calculamos el posicionamiento de los satélites pertenecientes a las constelaciones GPS y GLONASS (ver Figura 1). Para un caso específico en entorno urbano se mostrarán las diferencias al utilizar cada constelación.

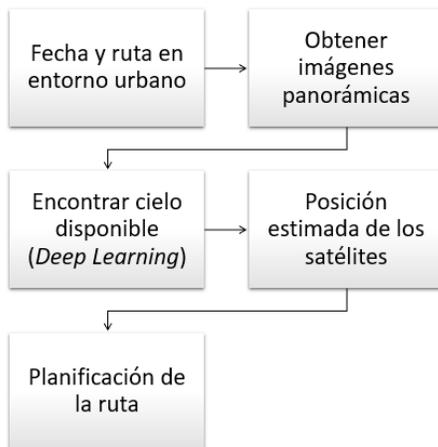


Figura 1. Flujo de procesos para calcular la planificación de rutas para monitoreo de vehículo con posicionamiento satelital en un entorno urbano. Fuente: elaboración propia.

Los parámetros de la órbita del satélite se emiten dentro de la señal y se almacenan en redes de servidores de todo el mundo. La posición del satélite se puede propagar a través del tiempo con la mecánica de la órbita. El modelo de propagación que ha sido usado en este trabajo para estimar la posición de cada satélite es el modelo SGP4 junto con el formato TLE [5]. Se ha encontrado un error promedio menor a 2 grados frente al formato RINEX. Este modelo se utiliza para determinar la posición del satélite en la proyección del cielo para una ubicación dada. Finalmente se calcula la visibilidad de cada satélite en una ruta trazada, sin tener en cuenta el efecto multicaminos, ocasionado por la reflexión de las señales en las edificaciones [6]. (Ver Figura 2).

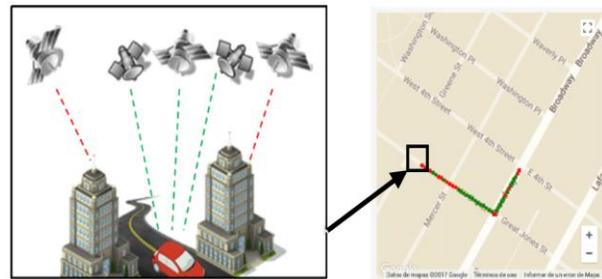


Figura 2. Posición no disponible en un entorno urbano denso. La representación del bloqueo de la señal del satélite por causa de los edificios (izquierda). Ruta con monitoreo de posición satelital, discontinua por falta de disponibilidad de una señal GPS en un entorno urbano (derecha). Fuente: elaboración propia.

## 2. Segmentación de imágenes

Para lograr tener una segmentación de objetos en un entorno urbano, es común utilizar los objetos CityGML, los cuales contienen figuras geométricas en un lenguaje de marcado de algunas ciudades. Estos objetos 3D son precisos en su mayoría [7], aunque pueden encontrarse errores en su geometría, tanto en las bases de datos públicas como privadas [8]. Una fuente pública de este tipo de información se encuentra con Google Street View, donde se puede aprovechar la información incluso histórica [9], con la cual se pueden conocer los cambios arquitecturales a través del tiempo.

Esta investigación propone hacer uso de fotografías panorámicas. Para esto se utiliza el servicio de Google Street View, con la cual se logra tener una imagen panorámica o fotografía de 360 grados en un punto de la ciudad, y con esto reconocer la disponibilidad del cielo en un entorno urbano. Para ubicar la trayectoria de los

<sup>1</sup> <https://www.navcen.uscg.gov/?Do=constellationStatus>

<sup>2</sup> <https://www.gsc-europa.eu/system-status/Constellation-Information>

satélites es necesario unificar los datos en un solo plano radial; por tanto, se realiza una transformación a la imagen panorámica obtenida. Se realiza una proyección estereográfica en la que cualquier punto en el espacio se representa en el centro del nadir, luego, la intersección de las líneas y el plano ecuatorial de la esfera que define la proyección estereográfica se proyectan hacia abajo para formar líneas de altitud solar [10][11] (ver Figura 3). Esta proyección tiene la ventaja de reducir el error al borde de la trayectoria, pues los ángulos en el horizonte son más amplios, y permite proyectar el entorno urbano en un plano bidimensional [12].

El siguiente paso en el método propuesto es usar un algoritmo de segmentación de imágenes para diferenciar el cielo de la obstrucción de los edificios presentes en la imagen panorámica. Para este proceso se ha utilizado la librería Segnet [13], la cual es el resultado de una investigación realizada por la universidad de Cambridge, donde cada objeto dentro de una imagen es etiquetado: edificios, autos, personas, entre otras. Este modelo pre-entrenado Segnet consiste en una red codificadora y una red decodificadora correspondiente, seguida de una capa final de clasificación pixel a pixel, donde cada codificador consiste en una o más capas convolucionales con normalización de lotes [14][15]. Las obstrucciones de los edificios se pueden diferenciar, ya que la posición proyectada de los satélites pertenece a la clase correspondiente a la segmentación, es decir, el segmento del cielo. (Ver Figura 4).

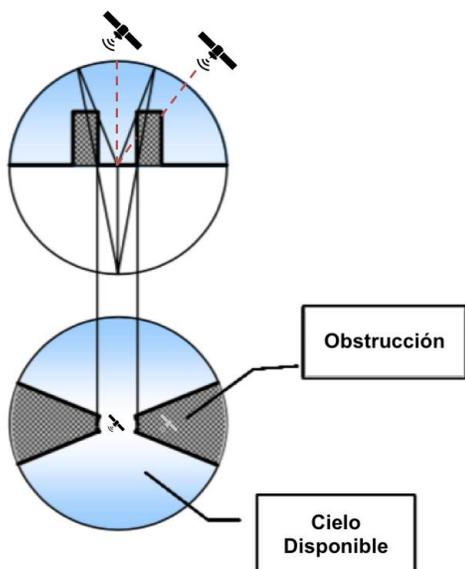


Figura 3. Obstrucción de la señal satelital con la proyección estereográfica a partir de Google Street View e identificación de los edificios con la segmentación del cielo disponible.

Fuente: modificada de [12]

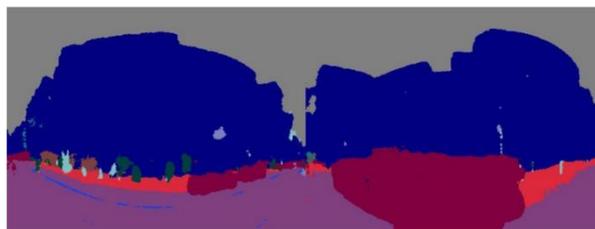


Figura 4. Segmentación semántica de imagen panorámica tomada de un punto de la ciudad dentro de la ruta seleccionada. Fuente: elaboración propia.

### 3. Disponibilidad de satélites

En la tarea de conocer la disponibilidad de los satélites se utilizó un modelo matemático que calcule en cierto tiempo y lugar la posición en azimut y elevación del satélite de la constelación a utilizar, con referencia a la posición del observador o receptor. Esta posición debe ser adaptada a la proyección estereográfica. Conociendo los valores de la efemérides de cada satélite es posible utilizar la ley de Kepler para conocer la posición de un satélite en un momento dado [16]. La ley de Kepler ha sido adecuada por el Comando de Defensa Aeroespacial de Norteamérica (NORAD), con el fin de aumentar la precisión del posicionamiento. En la actualidad existen cinco modelos matemáticos de propagación para la estimación de la posición y velocidad de los cuerpos celestes, basados en los modelos autorizados por el departamento de defensa de los estados unidos (DoD). Los modelos son SGP, SGP4, SDP4, SGP8 y SDP8 [5], y para definir el modelo a utilizar, se debe tener en cuenta las perturbaciones por las cuales son afectados los satélites. Para los satélites que hacen parte de este estudio, se debe utilizar el modelo de propagación simplificado (SGP4) por la distancia en que se encuentran los satélites respecto a la tierra. Esta agencia aeroespacial, NORAD, ha designado un formato con la información necesaria para realizar el cálculo de la propagación, este formato es llamado Two-Line Element sets (TLEs) [17]. Este formato y las ecuaciones autorizadas son de conocimiento público y está abierto para ser aporte de nuevas investigaciones. Las ecuaciones para el cálculo de posicionamiento fueron desarrolladas inicialmente por Ken Cranford en 1970 y han sido mejoradas con el tiempo [18]. Estas ecuaciones modelan los efectos gravitacionales de la luna y el sol, así como ciertos campos gravitacionales terrestres, que son de particular importancia para periodos orbitales.

En general, para calcular la posición de un satélite, se debe tener en cuenta no solo un buen modelo predictivo, los datos para el cálculo deben ser constantemente

refinados por las perturbaciones que se presentan en los satélites, perturbaciones gravitacionales y no gravitacionales [19]. El Comando de Defensa Aeroespacial, NORAD, se encarga de generar los elementos de perturbación general, eliminando las variaciones periódicas en la información de cada satélite, y de esta manera mejorar el cálculo de la posición, sin modificar el modelo de cálculo. Utilizando la información refinada se logra una mayor precisión, y esta se verá finalmente evidenciada cuando se realiza una proyección estereográfica, y el error que se encuentre podría ser maximizado.

Para el método propuesto se calcula la posición de cada satélite en un mismo plano radial al cual se ha adecuado la imagen panorámica de un punto de la ciudad (ver Figura 5), donde los puntos rojos corresponden a la constelación GPS y los puntos amarillos corresponden a la constelación GLONASS, y la parte oscura son los edificios en ese punto de la ciudad. Se observa en la gráfica que muchos de los satélites no son tenidos en cuenta, ya que su señal es obstruida por las edificaciones presentes.

La disponibilidad de los satélites depende en gran manera de la hora del día, ya que no son geoestacionarios. Para verificar esto, se realiza una observación durante un día (1.440 minutos) en una ubicación dentro de la zona urbana. Para que sea posible calcular una posición por un receptor GPS o GNSS, es necesario tener al menos 4 satélites dentro del rango [3].

En la Figura 6 se puede notar la variación de los satélites a través de sus órbitas, representados como la disponibilidad de satélites en un momento; esto sin mover la ubicación del receptor. También es posible notar la diferencia entre usar un receptor GNSS y un receptor de constelaciones GPS y GLONASS por separado, en este caso, no hay un punto de comparación entre GPS y GLONASS, pues muchas características que difieren a cada constelación y esto hace notoria esta variabilidad para notar la cantidad de satélites disponibles, pues tener disponibilidad de más constelaciones aumenta la precisión en el cálculo de la posición [20][21].

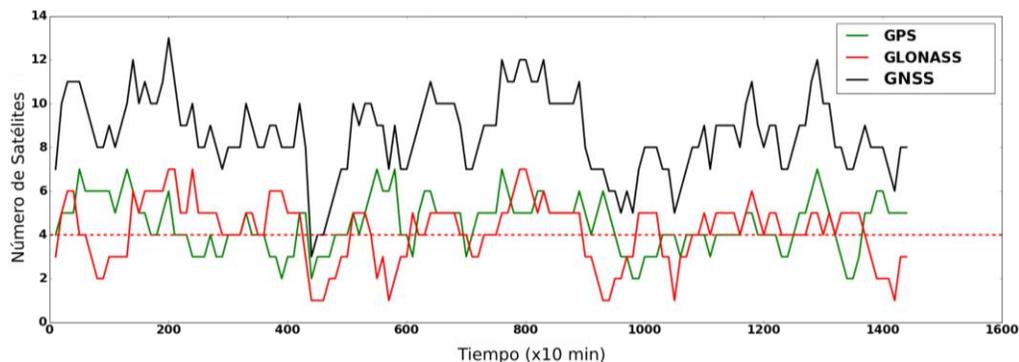


Figura 6. Cambio de la disponibilidad de satélites en un día para un punto de la ciudad, donde el mínimo de satélites disponibles necesario es 4 (línea roja discontinua), y se separa la constelación GPS, GLONASS y la suma de los satélites disponibles en ese momento. Fuente: elaboración propia.

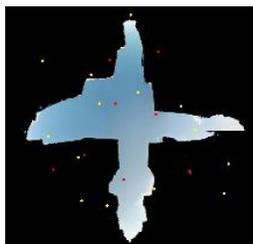


Figura 5. Representación de la posición de los satélites en un punto de la ciudad con edificios segmentados. La zona en color negro es el segmento no reconocido como cielo. Fuente: elaboración propia

#### 4. Planificación de la ruta

Acorde con el propósito de la investigación, es necesario encontrar la planeación de la ruta en un entorno urbano, y también elegir el mejor horario para el cual el seguimiento de un receptor en una ruta en un entorno urbano, donde la pérdida del seguimiento por posición satelital a través de la ruta sea mínima. Para hacer un caso de estudio, se toma la ciudad de Nueva York, donde hay una gran cantidad de edificios de gran altura y se prevé una ausencia en el cálculo del posicionamiento por satélite. Se propone una ruta entre 696 Broadway a 10W 3rd St, donde se realiza un cálculo de la disponibilidad de

los satélites en la misma ruta en tiempos diferentes. Este proceso puede hacerse para distintas rutas, donde finalmente se compara la disponibilidad de las rutas disponibles. El cambio de posición de los satélites en sus órbitas es evidente. En la Figura 7, el eje vertical contiene distintas horas en las cuales se puede iniciar el recorrido de la ruta, mostrando un rango de posibilidad de partida. Las zonas grises dentro de la gráfica indican el paso por una esquina o cruce entre calles; en esta zona se puede notar que la disponibilidad de satélites en ese momento es mayor, ya que en los cruces de las calles se encuentran menos obstrucciones o menor presencia de edificios. La zona sombreada en rojo indica áreas críticas dentro del recorrido, con muy poca visibilidad de satélites o directamente inferior a los mínimos requeridos; esto es el resultado de la variación algunos edificios altos junto con la rotación en la posición de los satélites en ese momento. La línea de color rojo en la Figura 7 es el recorrido del vehículo a través de la ruta planteada. Si el vehículo se encuentra en un área crítica, la posición vertical de esta línea roja indica una opción óptima, la cual sugiere la espera de unos segundos en el mismo lugar, hasta obtener una mejor disponibilidad de satélites, o bien se puede elegir un punto hora de partida distinta para que esta sea la ruta óptima. Para interpretar esta ruta y su

disponibilidad, puede ser apreciada en la Figura 8. Este es el resultado de la planificación de la ruta calculada con imágenes panorámicas tomadas de Google Street View dentro de un entorno urbano.

## 5. Conclusiones

El resultado principal de este trabajo es una metodología donde se realiza una planeación de trayectos en rutas existentes, en la que la geolocalización será menos interferida, según el cálculo de las órbitas con las constelaciones presentes, y teniendo en cuenta las edificaciones que se encuentran alrededor del vehículo utilizando información de Google Street View y realizando una segmentación con Deep Learning.

Se evidenció que disponer de al menos dos constelaciones para calcular la posición del receptor disminuye considerablemente la probabilidad de la pérdida de la señal satelital en un entorno urbano. El hecho de tener diferentes características, como periodo, número de órbitas o altura, permite que exista una constante rotación y diferentes configuraciones para disponer de disponibilidad de señales en el entorno urbano denso.

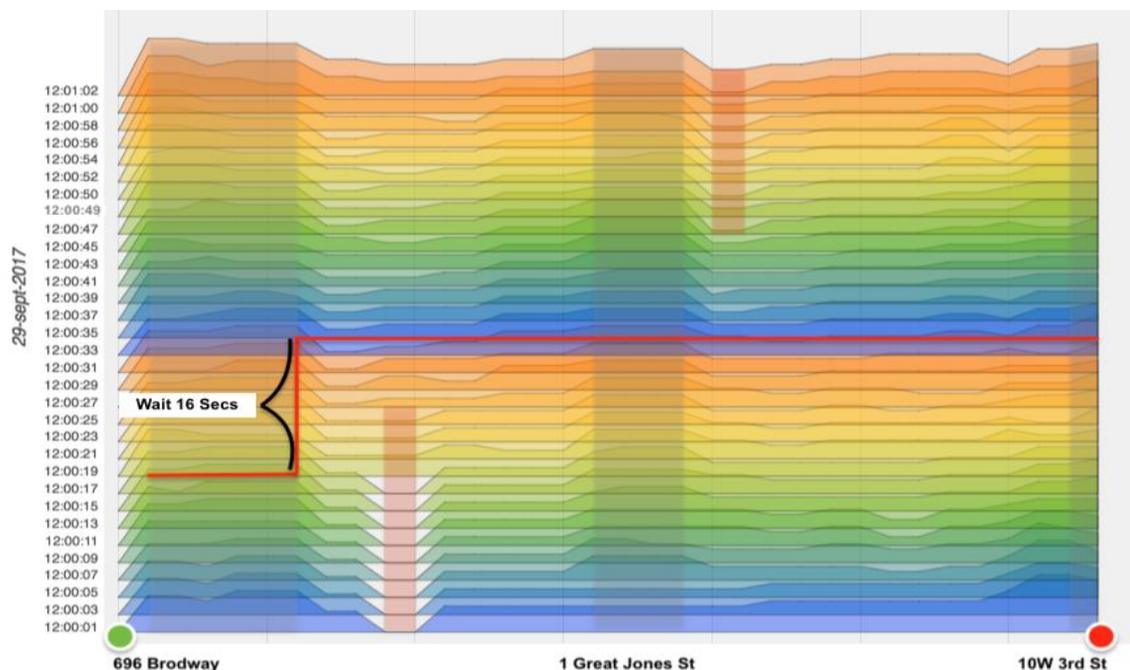
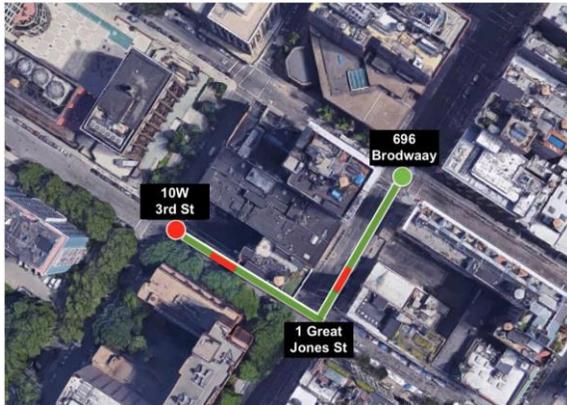
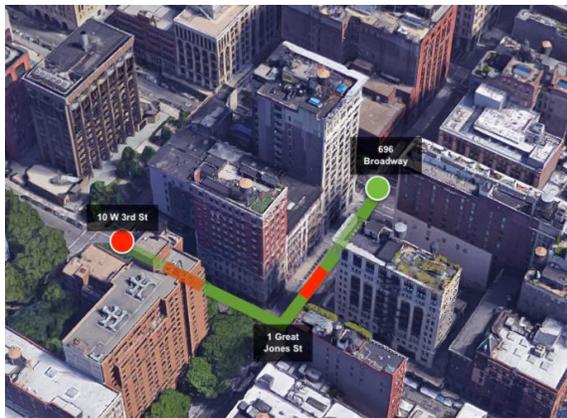


Figura 7. Planificación de la ruta óptima de disponibilidad de posición satelital en un entorno urbano denso. Donde el eje Y corresponde a la hora de partida que hará el vehículo, y el eje X corresponde a la ruta trazada. 696 Broadway es el inicio de la ruta, y finaliza en 10W, 3rd St. La zona sombreada roja corresponde a las zonas críticas con poca visibilidad de satélites, y las zonas sombreadas en gris corresponden a las esquinas de la ruta. Fuente: elaboración propia.



(a) Planificación de ruta en mapa de ciudad.



(b) Planificación de ruta en mapa 3D

Figura 8. Planificación de la ruta con la mejor opción de disponibilidad de posición satelital en un entorno urbano, representada en un mapa de la ciudad de Nueva York. (a) vista superior 2D. (b) vista en 3D. La parte resaltada en rojo es la zona crítica de la ruta. Fuente: elaboración propia.

Dadas las pruebas realizadas y la comparación de los algoritmos, fue posible notar que el hacer uso de los archivos TLE contribuye en función de la precisión, ya que unifica la información de las constelaciones, dado que los archivos de navegación en cada constelación difieren, y esto genera un error distinto para cada constelación. En la investigación se pudo notar que existe un error asociado a la proyección estereográfica que puede ser despreciado; esto es notado en la fórmula para calcular la transformación de las coordenadas a la proyección estereográfica, son transformadas con el radio de la tierra, que es un elipsoide y variaría su radio, por lo que la proyección estereográfica preserva los ángulos, pero distorsiona las distancias.

## 6. Trabajo futuro

Durante el desarrollo de la investigación se trabajó con solo dos constelaciones (GPS y GLONASS), aunque es posible contar con otras constelaciones, se sugiere agregarlas a una investigación futura para conocer su aporte en el tema de la disponibilidad.

Es preciso aumentar el *dataset* de entrenamiento a diferentes condiciones climáticas para mejorar la segmentación semántica de las imágenes panorámicas, así como utilizar otras fuentes distintas a Google Street View para alternar o mejorar la adquisición de imágenes disponibles.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Industrial de Santander por el programa de becas para el desarrollo de este trabajo.

## Referencias

- [1] P. D. Groves, "Shadow Matching: A New GNSS Positioning Technique for Urban Canyons," *J. Navig.*, vol. 64, no. 3, pp. 417–430, 2011. doi: 10.1017/S0373463311000087
- [2] A. Amini, R. M. Vaghefi, J. M. de la Garza, and R. M. Buehrer, "Improving GPS-based vehicle positioning for Intelligent Transportation Systems," in *2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings*, 2014, pp. 1023–1029. doi: 10.1109/IVS.2014.6856592
- [3] D. A. Álvarez García, "Sistema GNSS (Global Navigation Satellite System)," Universidad Autónoma de Madrid, 2008.
- [4] R. M. White and R. B. Langley, "Precise Point Positioning with Galileo Observables," in *Proceedings of 5th Int. Colloquium on Scientific and Fundamental Aspects of the Galileo Programme*, 2015, pp. 27–29.
- [5] F. R. Hoots and R. L. Roehrich, "Spacetrack report no. 3, models for propagation of norad element sets," *Spacetrack Rep.*, vol. 3, no. 3, pp. 1–91, 1980.
- [6] J. Bradbury, M. Ziebart, P. A. Cross, P. Boulton, and A. Read, "Code Multipath Modelling in the Urban Environment Using Large Virtual Reality City Models: Determining the Local Environment," *J. Navig.*, vol. 60, no. 1, pp. 95–105, 2007. doi: 10.1017/S0373463307004079

- [7] U. Ujang, F. Anton, and A. A. Rahman, "Unified Data Model of Urban Air Pollution Dispersion and 3D Spatial City Model: Groundwork Assessment towards Sustainable Urban Development for Malaysia," *J. Environ. Prot. (Irvine, Calif.)*, vol. 4, no. 7, pp. 701–712, Jul. 2013. doi: 10.4236/jep.2013.47081
- [8] F. Biljecki, H. Ledoux, X. Du, J. Stoter, K. H. Soon, and V. H. S. Khoo, "The Most Common Geometric And Semantic Errors In Citygml Datasets," in *11th 3D Geoinfo Conference*, 2016, pp. 13–22. doi: 10.5194/isprs-annals-IV-2-W1-13-2016
- [9] R. Goel *et al.*, "Estimating city-level travel patterns using street imagery: A case study of using Google Street View in Britain," *PLoS One*, vol. 13, no. 5, May 2018. doi: 10.1371/journal.pone.0196521
- [10] J. J. Burke, *Stereographic Projection of Radar Data in a Netted Radar System*. 1973.
- [11] K. W. Oh, J. Haberl, and L. Degelman, "Enhanced Software for Displaying Orthographic, Stereographic, Gnomonic and Cylindrical Projections of the Sunpath Diagram and Shading Mask Protractor," in *H&H - Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates*, 2000.
- [12] L. C. L. Souza, D. S. Rodrigues, and J. F. G. Mendes, "A 3D-gis extension for sky view factors assessment in urban environment," in *8th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management*, 2003.
- [13] L.-C. Chen, G. Papandreou, K. Murphy, and A. L. Yuille, "Semantic Image Segmentation With Deep Convolutional Nets And Fully Connected Crfs," in *ICLR 2015*.
- [14] V. Badrinarayanan, A. Kendall, and R. Cipolla, "SegNet: A Deep Convolutional Encoder-Decoder Architecture for Image Segmentation," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 39, no. 12, pp. 2481–2495, 2017. doi: 10.1109/TPAMI.2016.2644615
- [15] A. Kendall, V. Badrinarayanan, and R. Cipolla, *Bayesian SegNet: Model Uncertainty in Deep Convolutional Encoder-Decoder Architectures for Scene Understanding*. 2015.
- [16] M. Greene and R. Zee, "Increasing the Accuracy of Orbital Position Information from NORAD SGP4 Using Intermittent GPS Readings," in *23rd AIAA/USU Conference on Small Satellites*, 2009.
- [17] B.-S. Lee, "NORAD TLE Conversion from Osculating Orbital Element," *J. Astron. Sp. Sci.*, vol. 19, pp. 395–402, Dec. 2002.
- [18] W. Dong and Z. Chang-yin, "An Accuracy Analysis of the SGP4/SDP4 Model," *Chinese Astron. Astrophys.*, vol. 34, no. 1, pp. 69–76, 2010. doi: 10.1016/j.chinastron.2009.12.009
- [19] A. Abdelaziz, B. A. I. Hassan, and M. A. Awad, "Perturbation Effect On Ground Tracks Of Satellites Orbits." [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/287640820\\_PERTURBATION\\_EFFECT\\_ON\\_GROUND\\_TRACKS\\_OF\\_SATELLITES\\_ORBITS](https://www.researchgate.net/publication/287640820_PERTURBATION_EFFECT_ON_GROUND_TRACKS_OF_SATELLITES_ORBITS). [Accessed: 31-Jan-2018].
- [20] C. Parente and C. Meneghini, "Advantages of Multi GNSS Constellation: GDOP Analysis for GPS, GLONASS and Galileo Combinations," *Int. J. Eng. Technol. Innov.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–10, Jan. 2017.
- [21] D. Pandey, R. Dwivedi, O. Dikshit, and A. Singh, "GPS and glonass combined static precise point positioning (PPP)," in *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2016, vol. XLI-B1, pp. 483–488. doi: 10.5194/isprsarchives-XLI-B1-483-2016