

Mejoras de una correspondencia topológica de mapas

Algoritmo en modo de posprocesamiento

Roberto León

Departamento de Ciencias de la Ingeniería
Universidad Andrés Bello
Viña del Mar, Chile
roberto.leon@unab.cl

Carola blazquez

Departamento de Ciencias de la Ingeniería
Universidad Andrés Bello
Viña del Mar, Chile
cblazquez@unab.cl

Vincent Depassier

Facultad de Ingeniería
Universidad Andrés Bello
Viña del Mar, Chile
v.depassiercasanova@uandresbello.edu

Abstracto —El problema de la correspondencia de mapas suele surgir cuando integrando la posición y otra información de los sistemas de navegación global por satélite (GNSS), como el GPS, en un mapa de carreteras digital. Este estudio presenta mejoras a un algoritmo de correspondencia de mapas topológicos (TMMA) de posprocesamiento existente que resuelve este problema con éxito. Tanto la TMMA existente como la mejorada se probaron y compararon con respecto a la calidad de la solución y el tiempo de cálculo utilizando datos de GPS recopilados de nueve rutas de vehículos de mantenimiento invernal en el condado de Portage, Wisconsin, Estados Unidos. En promedio, los resultados indican un aumento del 0,6% en la asignación correcta de puntos GPS a la red de carreteras, y una disminución del 1% en los casos de falsos negativos (FN) (puntos GPS no igualados) al comparar la TMMA mejorada con la existente. TMMA. Además, la TMMA mejorada puede resolver en promedio 1.3% más de casos que la TMMA existente al asignar puntos incorrectos y FN a los tramos de carretera correctos. Aunque se obtuvieron mejores resultados en términos de calidad de la solución con la TMMA mejorada, el tiempo de cálculo aumenta con esta versión de la TMMA debido a los pasos adicionales que se incorporan en la resolución del problema de correspondencia de mapas. Finalmente, se realizaron las pruebas T de muestras pareadas para identificar diferencias estadísticas entre ambas versiones de la TMMA.

Términos del Índice —Medidas GPS, transporte inteligente

Sistemas, modo de posprocesamiento, mapas de carreteras digitales

INTRODUCCIÓN

Las aplicaciones y servicios relacionados con los sistemas de transporte inteligente (ITS), como la guía de ruta y la gestión de flotas, requieren capacidades de posicionamiento y navegación [1]. Los sistemas globales de navegación por satélite (GNSS), como el GPS y otros sistemas de posicionamiento, y los sistemas de información geográfica (GIS) son las principales características de los ITS que se utilizan para localizar objetos o vehículos en mapas de carreteras digitales. Debido a las complejidades de la red de carreteras y los errores en las mediciones de GPS (particularmente en cañones urbanos) y también en los mapas de carreteras digitales, las mediciones de GPS (puntos de datos) pueden no estar asociadas a los tramos de carretera correctos [2] [3], lo que da como resultado el llamado problema de correspondencia de mapas. Para resolver este problema, se ha empleado una amplia variedad de algoritmos de correspondencia de mapas para integrar la información de posición de los receptores GPS en un mapa de carreteras digital y, por lo tanto, para identificar las rutas correctas de los vehículos [1]. Entre estos algoritmos de coincidencia de mapas, se han preferido los algoritmos de coincidencia de mapas topológicos (TMMA) debido a su uso simple y rápida implementación [2] [4], particularmente en el modo de posprocesamiento, ya que generalmente una gran cantidad de datos

necesita ser analizado y las tareas computacionales son intensivas [5]. Las TMMA utilizan topología de red (es decir, restricciones de giro y direcciones de tráfico) junto con la geometría de la red de carreteras en la resolución del problema de correspondencia de mapas. Por tanto, la conectividad y la contigüidad de los tramos de carretera son características importantes de las TMMA [6].

Este estudio presenta una versión mejorada de un post-procesamiento de TMMA desarrollado por Blazquez et al [3] [7] [8] para aumentar el número de mediciones de GPS correctamente ajustadas o emparejadas (es decir, disminuye el problema de coincidencia de mapas) en la red de carreteras, y para reducir el número de falsos negativos (FN) que incluye puntos GPS que no están asociados a ningún tramo de carretera, principalmente por el uso de búferes muy pequeños. Los resultados se muestran a través de una comparación entre las versiones original y mejorada de TMMA con respecto a la calidad de la solución y el tiempo de cálculo. La prueba T de muestras pareadas se emplea para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas en los resultados entre ambas versiones de la TMMA.

II. L. REVISIÓN DE LITERATURA

En los últimos 20 años, se han desarrollado y propuesto una variedad de TMMA para resolver el problema de correspondencia de mapas [3] [4] [8]. Algunas de estas TMMA son algoritmos basados en peso. Greenfeld [9] propuso una de las primeras TMMA para hacer coincidir puntos GPS con la red de carreteras basándose en una puntuación ponderada que determina la probabilidad de coincidencias correctas. Más tarde, Velaga et al [4] introdujeron una TMMA basada en ponderaciones mejorada que utiliza dos ponderaciones adicionales relacionadas con las restricciones de giro y la conectividad de carreteras en las intersecciones. Wang et al [10] desarrollaron un algoritmo de correspondencia de mapas basado en funciones de ponderación que utiliza atributos de altura y nivel de carril además de información geométrica y topológica en la resolución del problema de correspondencia de mapas.

En otro estudio, Lou y Wang [11] emplearon un mapa algoritmo de coincidencia que utiliza la geometría y la topología de la calzada, y las restricciones relacionadas con el tiempo y las velocidades de las trayectorias. Gong et al [12] desarrollaron un TMMA de posprocesamiento considerando simultáneamente la información geométrica y topológica local y la información de forma global en la implementación de un algoritmo de optimización de colonias de hormigas.

Se han desarrollado otras TMMA en modo de posprocesamiento para abordar las bajas resoluciones temporales de las mediciones de GPS.

seguros. Por ejemplo, se introdujo una TMMA en Liu y Li [13] para identificar trayectorias GPS precisas para intervalos de muestreo bajos superiores a 2 minutos calculando la probabilidad de cada punto de la trayectoria. Yuan et al [14] propusieron una TMMA global para datos GPS de baja frecuencia. Primero, los autores procesan previamente los datos para identificar las regiones de error, luego determinan la ruta de coincidencia potencial y, finalmente, obtienen los resultados de coincidencia con un método de división de secciones de carreteras. A diferencia de las TMMA mencionadas anteriormente, las versiones originales y mejoradas de TMMA empleadas en este estudio proporcionan una implementación eficiente y simple basada en reglas de decisión que usan solo dos parámetros de algoritmo (es decir, búferes alrededor de las mediciones de GPS y la tolerancia del rango de velocidad del vehículo).

III. D DESCRIPCIÓN DEL TMMA

A. TMMA existente

La TMMA [3] de posprocesamiento existente utiliza zonas de influencia alrededor de los puntos GPS para seleccionar posibles ubicaciones coincidentes de dichos puntos en la red de carreteras. Posteriormente, los puntos GPS se asocian al candidato de la línea central de la carretera más cercana y se calculan las rutas más cortas entre pares de puntos coincidentes. Posteriormente, la velocidad de viaje se calcula utilizando la distancia del camino más corto y la diferencia de tiempo entre las dos marcas de tiempo de las mediciones de GPS. Luego, esta velocidad de viaje se compara con la velocidad promedio del vehículo calculada con la velocidad que se registró con cada medición de GPS. Si esta velocidad promedio está dentro de una tolerancia de rango de velocidad alrededor de la velocidad de viaje, entonces se acepta la ruta entre los puntos GPS ajustados y las ubicaciones de puntos GPS coincidentes actuales se consideran correctas. Por el contrario, se rechaza la ubicación actual del punto GPS coincidente, y se prueban ubicaciones de coincidencia alternativas en candidatos a la línea central de la carretera, se vuelven a calcular las rutas más cortas y se vuelven a comparar las velocidades. Si no se obtienen otras rutas viables, la TMMA prueba con pares consecutivos de puntos GPS (ya sea anterior o posterior), como se muestra en la Fig. 1. Esta figura presenta un diagrama de la secuencia paso a paso de la TMMA original que busca factible

rutas entre pares de puntos GPS coincidentes (k_I y k_J) hasta que el problema de correspondencia de mapas se resuelva o alcance un valor predefinido número máximo de puntos GPS consecutivos (NORTE).

B. TMMA mejorada

La Fig. 2 muestra el diagrama de flujo del TMMA mejorado, que es similar al TMMA existente. En esta versión mejorada del algoritmo, se incorporó un paso para asignar los puntos GPS sin asociaciones de carreteras (es decir, casos FN) a la línea central de la carretera correcta. Al probar las rutas factibles entre pares de puntos GPS, los casos de FN se ven obligados a ajustarse al segmento de carretera más cercano a lo largo de las rutas viables entre los puntos GPS anteriores y posteriores; Así, el FID de la carretera asociada para los casos FN se modifica de cero al FID del asignado.

tramo de carretera más cercano. Por ejemplo, si varios puntos GPS (k_{pag} con $p = i + 1, \dots, j - 1$) no están asociados a ninguna carretera y hay una ruta válida entre puntos ajustados k_I y k_J , luego cada punto k_{pag} está asociado a la carretera más cercana que forma parte de la ruta factible generada.

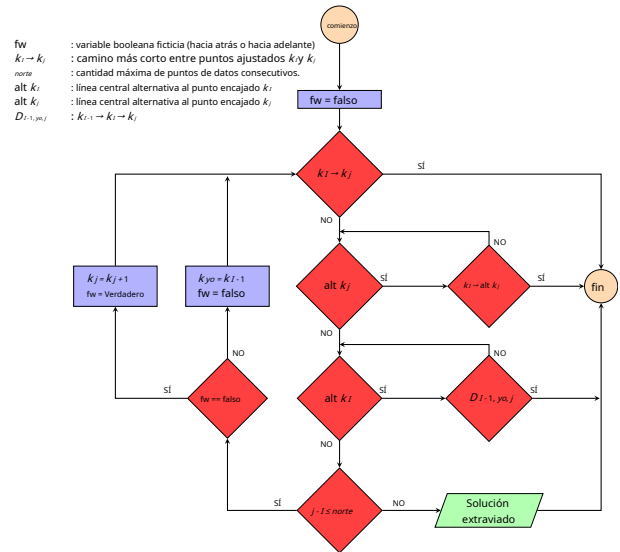


Fig. 1: Diagrama de flujo de la TMMA existente. Fuente [8]

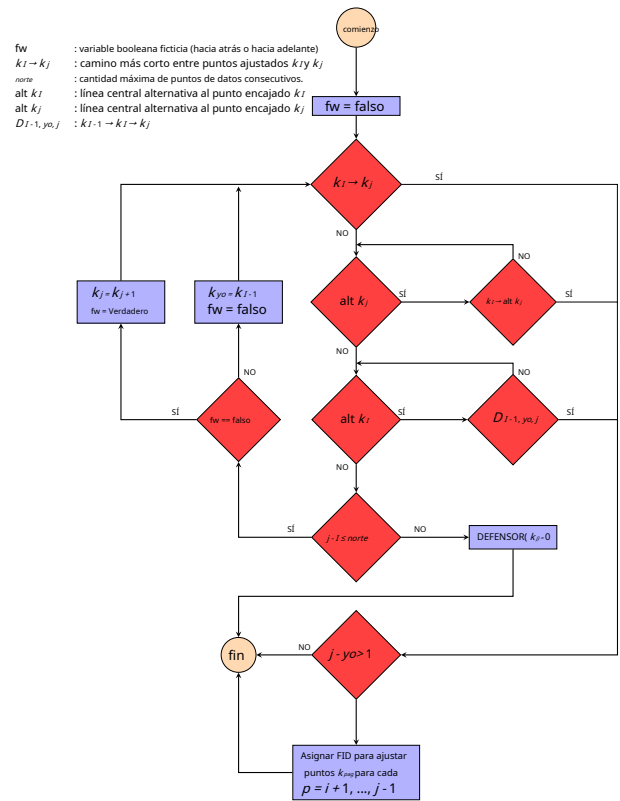


Fig. 2: Diagrama de flujo del TMMA mejorado.

Por lo tanto, un punto capturado se asigna con el FID de la carretera asociada. Aunque esta asignación puede no ser necesariamente correcta, el objetivo de la TMMA mejorada es abordar la Casos FN para asociar cada punto GPS a un tramo de carretera. los el algoritmo 1 representa las instrucciones en este caso. Para cada punto k_{pag} , se verifica el FID actual. Si el FID pertenece a la ruta viable entre puntos ajustados k_I y k_J , entonces el FID permanece. De lo contrario, la distancia más cercana entre el punto

k_{pag} se calcula la ruta viable. El FID relacionado con el tramo de carretera correcto (incorrecto). Los casos FN (FID = distancia más cercana se asigna como solución de segmento, y el punto 0) corresponden a puntos GPS que no se ajustaron a ningún k_{pag} está encajado en él.

Algoritmo 1 Forzar ruta

```

1: procedimiento FUERZA ROUTE (  $k_i, k_j$  )
2:   ruta  $ij \leftarrow$  ruta entre  $k_i, k_j$ 
3:   por  $p = i + 1, \dots, j - 1$  hacer
4:     si DEFENSORpag  $\in$  ruta  $ij$  luego
5:       DEFENSORpag permanece.
6:     demás
7:        $D_{\min} \leftarrow \infty$ 
8:       por DEFENSORc  $\in$  ruta  $ij$  hacer
9:          $d = \text{distancia}(k_{pag}, \text{DEFENSOR}_c)$ 
10:        si  $d < d_{\min}$  luego
11:           $D_{\min} = d$ 
12:          DEFENSORmin = DEFENSORc
13:      DEFENSORpag  $\leftarrow$  DEFENSORmin

```

IV. DATA

Se probaron y compararon las versiones existentes y mejoradas de TMMA utilizando datos de mediciones de GPS (aproximadamente 2100 puntos) que fueron capturados por vehículos de mantenimiento invernal en el condado de Portage, Wisconsin, Estados Unidos. En la Fig. 3 se puede observar una muestra de las mediciones de GPS a lo largo de una carretera interestatal. Estas mediciones se obtuvieron de un total de nueve rutas de vehículos (nueve series) durante una tormenta invernal. Tenga en cuenta que solo se recopilieron marcas de tiempo, velocidad y posición del vehículo con cada medición. La información de rumbo no estaba disponible y no se empleó ningún sistema integrado de GPS diferencial / estimada durante el proceso de recopilación de datos.

El TMMA se ejecutó usando Python 2.7.8 con una biblioteca Arcpy del software ArcGIS y se ejecutó usando una computadora portátil con una CPU Intel Core i5 con una velocidad de reloj de 2.3 GHz, 2 núcleos y 8 GB de RAM.

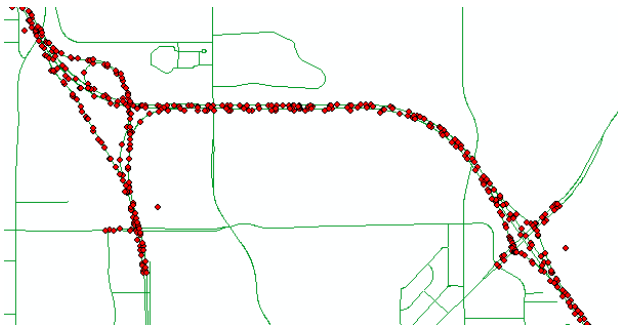


Fig.3: Datos de muestra capturados en el condado de Portage, Wisconsin

V. R RESULTADOS

Diferentes casos relacionados con correcto, incorrecto y FN para un tamaño de búfer de 60 pies y una tolerancia de rango de velocidad de 25 cada una de las nueve series (rutas de vehículos) usando el mi / hr existente. Esta tabla indica que, en promedio, se calculó el porcentaje de TMMA mejorada, como en [2]. Los puntos correctamente encajados correctamente aumentaron en 0.6% y el porcentaje (incorrecto) de caso representa aquellos puntos que están asociados a casos de FN disminuyeron en 1% al implementar el mejorado

tramo de carretera, principalmente debido al uso de amortiguadores inadecuados y pequeños.

La Figura 4 presenta un ejemplo de dos puntos GPS (indicados por círculos verdes) que deben coincidir con la línea central de una carretera. El primer punto GPS (superior) se asigna con éxito al segmento de carretera más cercano con las versiones existentes y mejoradas de TMMA (E-TMMA e I-TMMA, respectivamente), especialmente porque el punto está cerca de la red de carreteras. Esta figura también muestra un segundo punto GPS (inferior) que está más distante de la línea central de la carretera. La TMMA existente no coincide con este punto en la línea central de la carretera, quedando como un caso FN sin carretera asociada. Sin embargo, la TMMA mejorada obliga a que el punto GPS se ajuste al segmento de carretera más cercano que forma parte de la ruta factible entre los puntos GPS vecinos. Por lo tanto, el caso FN se resuelve haciendo coincidir correctamente este punto con la red de carreteras (representado por un triángulo).

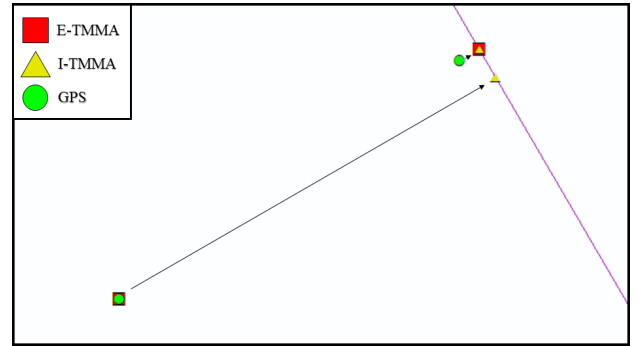


Fig. 4: Ejemplo de resolución con TMMA existente y mejorada.

TABLA I: Casos correctos, falsos negativos e incorrectos con TMMA existente y mejorada para la serie probada.

Serie	E-TMMA			I-TMMA			Diferencia		
	C (%)	FN (%)	I (%)	C (%)	FN (%)	I (%)	C (%)	FN (%)	I (%)
1	93,8	1,9	4,2	93,5	1,9	4,6	-0,4	0,0	0,4
2	89,0	4,8	6,1	89,5	3,1	7,5	0,4	-1,8	1,3
3	95,8	3,6	0,6	97,0	1,8	1,2	1,2	-1,8	0,6
4	87,4	3,5	9,1	90,2	2,1	7,7	2,8	-1,4	-1,4
5	91,1	3,6	5,4	91,1	1,8	7,1	0,0	-1,8	1,8
6	82,3	3,9	13,8	82,3	3,9	13,8	0,0	0,0	0,0
7	92,6	3,7	3,7	95,2	1,1	3,7	2,7	-2,7	0,0
8	87,3	11,0	1,7	86,9	11,4	1,7	-0,4	0,4	0,0
9	88,7	4,3	7,0	87,8	4,3	7,9	-1,0	0,0	1,0
promedio	89,8	4,5	5,7	90,4	3,5	6,1	0,6	-1,0	0,4
Dakota del Sur	4,1	2,6	4,0	4,5	3,2	3,9	1,4	1,1	0,9

C: correcto, FN: falso negativo, I: incorrecto, promedio: promedio, DE: desviación estándar

En cuanto a la calidad de la solución, la Tabla I muestra los porcentajes de casos correctos, incorrectos y FN por serie para las versiones existentes y mejoradas de la TMMA utilizando

TMMA. Sin embargo, hay un aumento del 0,4% en los puntos de ajuste incorrectos ya que algunos puntos de GPS considerados como casos FN con la TMMA existente se ajustaron a un segmento de carretera incorrecto con la TMMA mejorada. Este inconveniente debe abordarse en investigaciones futuras.

Se realizó una comparación aún más al calcular el porcentaje de puntos GPS que i) permanecieron con la misma solución como correcta, FN o incorrecta para ambas versiones de TMMA (Igual), ii) cambiaron de asociaciones de carreteras incorrectas a correctas después de implementando el TMMA mejorado (Resuelto), y iii) no se insertaron correctamente en la red de carreteras después de ejecutar ambos TMMA (No resuelto), como se ilustra en la Tabla II. Nótese que esta tabla muestra que en promedio el 97.6% de los puntos GPS presentaron los mismos resultados como correcto, FN o incorrecto al ejecutar la TMMA existente y mejorada. Además, la TMMA mejorada puede ajustar correctamente un promedio de 1.3% más puntos GPS que la TMMA existente, lo que significa que FN y los casos incorrectos con la TMMA existente se asociaron correctamente con la TMMA mejorada. En promedio 1. El 1% de los puntos GPS se identificaron como FN o como instantáneas incorrectas después de implementar la TMMA mejorada. En este caso, el problema de la correspondencia de mapas no se resolvió ni con la TMMA existente ni con la mejorada.

En cuanto al tiempo de cálculo, la Tabla III presenta los resultados para las versiones existentes y mejoradas de la TMMA. Esta tabla muestra que hay un aumento significativo (60% en promedio) en el tiempo de ejecución al implementar la TMMA mejorada. El incremento en el número de intentos de la TMMA mejorada para resolver el problema de correspondencia de mapas de los puntos FN produce el aumento de tiempo. El algoritmo mejorado invierte una cantidad considerable de pruebas adicionales para obtener rutas factibles entre pares de puntos GPS ajustados. Sin embargo, el principal objetivo de la TMMA mejorada es mejorar la calidad de la solución independientemente del tiempo requerido.

La Tabla IV presenta los resultados de la prueba T para muestras pareadas para solución de calidad, que determina si existe o no significación estadística en las diferencias entre la media de ambas versiones de la TMMA para los casos que se muestran en la Tabla I. los pares de casos correctos e incorrectos en la Tabla IV son más altos que el nivel de significancia de 0.05 (nivel de confianza del 95%), y además el valor absoluto del estadístico de prueba *T* es más bajo que el T-Critical de dos colas para los casos correctos e incorrectos. Por lo tanto, la hipótesis nula no se rechaza y no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de estos pares. Por el contrario, la Tabla III muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la TMMA existente y mejorada para los casos de FN. Estos resultados sugieren que aparecen grandes diferencias para los casos de FN, revelando mejores resultados en la TMMA mejorada.

Con respecto al tiempo de cálculo, la muestra apareada T-resultado de la prueba ($T_8 = -5.487$; $p = 0.0005$) indica que existe una diferencia significativa en la media entre ambas versiones de la TMMA por el rechazo de la hipótesis nula. En otras palabras, este resultado implica que de hecho existe una diferencia entre las versiones existentes y mejoradas de la TMMA en

términos del tiempo de ejecución.

TABLA II: Comparación de la calidad de la solución entre TMMA existente y mejorado para la serie probada.

Serie	Mismo (%)	Resuelto (%)	No resuelto (%)
1	98,1	0.4	1,5
2	96,1	1.8	2.2
3	98,2	1.2	0,6
4	97,2	2.8	0.0
5	96,4	1.8	1.8
6	100,0	0.0	0.0
7	96,3	3.2	0,5
8	99,6	0.0	0.4
9	96,2	0,7	3.1
promedio	97,6	1.3	1.1
Dakota del Sur	1,5	1.2	1.1

prom: promedio, DE: desviación estándar

TABLA III: Comparación del tiempo de cálculo en minutos entre la TMMA existente y mejorada para la serie probada.

Serie	E-TMMA	I-TMMA	Diferencia (min)
1	10,8	15,9	5.1
2	9.4	15,5	6.1
3	6.5	10,6	4.1
4	11,2	18,4	7.2
5	4.8	7.5	2,7
6	8,9	13,7	4.8
7	7,6	12,4	4.9
8	8.5	12,9	4.3
9	21,5	35,3	13,7
promedio	9,9	15,8	5.9
Dakota del Sur	4.8	8.0	3.2

prom: promedio, DE: desviación estándar

TABLA IV: Resultados de la prueba T de muestras pareadas para la calidad de la solución en la TMMA.

Caso	df	<i>T</i>	<i>pag</i>
Correcto	8	- 1.312	0,225
FN	8	2.707	0,026
Incorrecto	8	- 1.310	0,226

VI. C ONCLUSIONES

Este estudio presenta una versión mejorada de un TMMA en modo de posprocesamiento. Esta TMMA se probó utilizando mediciones de GPS que fueron capturadas por vehículos de mantenimiento de invierno durante una tormenta de nieve en el condado de Portage, Wisconsin. En promedio, se obtuvieron mejores resultados aumentando la coincidencia correcta de los puntos GPS en la red de carreteras en un 0,6% y reduciendo el número de casos de FN en un 1,0%. En general, la versión mejorada de TMMA resuelve el problema de correspondencia de mapas en un 1,3% adicional (en promedio) en comparación con la TMMA existente. Finalmente, el tiempo de ejecución de la TMMA mejorada es en promedio 5.9 minutos mayor que la TMMA existente ya que se ejecutan más pasos. en este último para resolver particularmente los casos FN.

Una limitación de nuestro estudio es la prueba de la TMMA con Mediciones GPS capturadas por vehículos de mantenimiento invernal durante una tormenta de nieve. Se requieren más pruebas con datos espaciales adicionales de otros tipos de vehículos, como vehículos de recolección de residuos sólidos, vehículos de recogida o entrega, vehículos de concreto premezclado, etc. Esto garantizará que la TMMA

ser probado utilizando otros conjuntos de datos con diferentes calidades para evaluar y validar el funcionamiento de la TMMA mejorada.

En investigaciones futuras, revisaremos la versión mejorada de TMMA para ejecutar en tiempo real para resolver el problema de correspondencia de mapas a medida que se recopilan las mediciones de GPS. Esta TMMA debe probarse con mediciones de GPS capturadas en tiempo real desde diferentes aplicaciones, como control y gestión de tránsito, y estudios de comportamiento de viaje.

El trabajo futuro debería incluir la migración de un entorno portátil a un servicio en la nube para reducir el tiempo computacional y producir una diferencia significativa en el tiempo de ejecución. En consecuencia, aseguraríamos una buena calidad de la solución y un menor tiempo de cálculo. Además, el Python 2.7 real se puede actualizar a 3.x para ejecutar el código con una versión más reciente de ArcGIS en un servidor.

REFERENCIAS

- [1] T. Binjammaz, A. Al-Bayatti y A. Al-Hargan, "Monitoreo de integridad GPS sensible al contexto para sistemas de transporte inteligentes". J. Traff. y Transp., vol. 3, no. 1, págs. 1-15, 2016.
- [2] C. Blazquez y A. Vonderohe, "Efectos de los parámetros de control sobre el rendimiento de un algoritmo de correspondencia de mapas de reglas de decisión". J. Transp. Eng., Vol. 135, no. 12, págs. 966-973, 2009.
- [3] C. Blazquez, P. Miranda y A. Ponce, "Rendimiento de un nuevo algoritmo de correspondencia de reglas de decisión topológica mejorado para aplicaciones de transporte". J. Appl. Res. Technol., Vol. 10, págs. 929-940, 2012.
- [4] N. Velaga, M. Quddus y A. Bristow, "Desarrollo de un algoritmo mejorado de correspondencia de mapas topológicos basados en el peso para sistemas de transporte inteligentes". Transporte. Res. C-Emer., Vol. 17, no. 6, págs. 672-683, 2009.
- [5] M. Hashemi y H. Karimi, "Una revisión crítica de algoritmos de correspondencia de mapas en tiempo real: problemas actuales y direcciones futuras". Computación. Reinar. Urbano, vol. 48, págs. 153-165, 2014.
- [6] M. Quddus, W. Ochieng y R. Noland, "Algoritmos actuales de correspondencia de mapas para aplicaciones de transporte: estado del arte y direcciones de investigación futuras". Transporte. Res. C-Emer., Vol. 15, págs. 312-328, 2007.
- [7] C. Blazquez, J. Ries, R. Leon y P. Miranda, "Towards a Parameter Tuning Approach for a Map-Matching Algorithm". En Actas de la Conferencia Internacional IEEE sobre Electrónica y Seguridad Vehicular (ICVES), 27-28 de junio, Viena, Austria, 2017.
- [8] C. Blazquez, J. Ries, R. Leon y P. Miranda, "Un enfoque de ajuste de parámetros específico de instancia utilizando lógica difusa para un algoritmo de correspondencia de mapas topológicos de posprocesamiento". IEEE Intel. Transp. Sy., Vol. 10, no 4, págs. 87-97, 2018.
- [9] J. Greenfeld, "Emparejar observaciones de GPS con ubicaciones en un mapa digital". Transporte Res. B. 81ª Reunión Anual, Washington, DC, 2002.
- [10] J. Wang, M. Metzner y V. Schwieger, "Algoritmo de correspondencia de mapas basado en funciones de ponderación para una detección confiable de conducción en sentido contrario". Actas del 12º Congreso Europeo de ITS, 19-22 de junio, Estrasburgo, Francia, 2017.
- [11] Y. Lou y W. Wang, "Coincidencia de mapas para trayectorias GPS de baja frecuencia de muestreo". ACM GIS '09, 4-6 de noviembre, Seattle, WA, EE. UU., 2009.
- [12] YJ Gong, E. Chen, X. Zhang, LM Ni, J. Zhang, "Antmapper: un enfoque de correspondencia de mapas basado en colonias de hormigas para aplicaciones basadas en trayectorias", IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. PP (99pp. 1-12, 2017.
- [13] Y. Liu y Z. Li, "Un algoritmo novedoso de trayectorias GPS de baja frecuencia de muestreo en la correspondencia de mapas", Eurasip J. Wirel. Comm., No. 1, pág. 30, 2017.
- [14] L. Yuan, D. Li y S. Hu, "Un algoritmo de correspondencia de mapas con datos de automóviles flotantes de baja frecuencia basados en la ruta de correspondencia". Eurasip J. Wirel. Comm., Pág. 146, 2018.