

GPS and GIS Methods to Reproduce Vehicle Trajectories in Urban Areas

UN APPROCCIO GPS AND GIS PER LA RICOSTRUZIONE DELLE TRAIETTORIE VEICOLARI IN AMBITO URBANO*

Vincenzo Barrile, Maria Nadia Postorino

Università Mediterranea di Reggio Calabria

Dipartimento DICEAM

Reggio Calabria, Italia

vincenzo.barrile@unirc.it; npostorino@unirc.it

Abstract

Intelligent vehicles – both automated and autonomous – have gained more and more importance due to the opportunity they offer to reduce congestion and particularly increase safety. As an example, accidents may occur when vehicle trajectories change and potentially cross, like in the case of overtaking manoeuvres. In this paper, the use of GPS and GIS methods are proposed to study and analyse vehicle trajectories. The aim is to retrace vehicle trajectories that can be useful to implement on-board devices guaranteeing both automatic driving and/or driving assistance. Some tests have been realized by using floating cars and the results are very promising.

KEY WORDS: *Vehicle trajectories, Tracking, GPS data, Automated cars.*

1. Introduzione

Negli ultimi decenni si è assistito ad un crescente sviluppo dei cosiddetti “veicoli intelligenti”, il cui scopo è di garantire uno spostamento sicuro e rapido, fornendo allo stesso tempo un’esperienza di guida confortevole ai conducenti. Il fattore chiave di sistemi di questo tipo è l’informazione fornita dai dispositivi a bordo del veicolo.

In particolare, la natura dell’informazione fornita, l’intervallo di tempo necessario per l’aggiornamento dei dati e l’utilizzo di dati già memorizzati dipendono dall’obiettivo specifico per il quale il sistema è pensato, nonché dalla tecnologia utilizzata.

Nonostante le autovetture siano uno dei mezzi di trasporto più utilizzati grazie alla versatilità d’impiego e all’autonomia garantita – ad esempio, il conducente può scegliere il proprio percorso, controllare la traiettoria, cambiare corsia e variare la velocità – tuttavia, queste stesse caratteristiche ne fanno uno dei mezzi di trasporto meno sicuri. Infatti, veicoli sulla stessa corsia di marcia o su corsie adiacenti interferiscono tra loro in modo casuale, tale causalità essendo legata al comportamento di guida e di reazione del singolo utente.

Le interazioni e il comportamento di guida dell’utente possono generare traiettorie potenzialmente in conflitto, che conducono ad eventi incidentali quando le traiettorie effettivamente si incrociano. Inoltre, in diversi casi la velocità elevata o altri fattori legati al comportamento di guida possono generare incidenti in cui resta coinvolto il singolo veicolo. In aree urbane e metropolitane, gli incidenti tra veicoli o con veicolo isolato sono molto frequenti. Le conseguenze sono spesso fatali, non solo per gli occupanti delle autovetture, ma anche per i pedoni che si trovano eventualmente coinvolti nell’evento.

In quest’ottica, l’obiettivo di un veicolo intelligente è di evitare situazioni pericolose utilizzando dispositivi luminosi e segnali, anche sonori, che avvisano il conducente del rischio di incidente.

Sistemi avanzati possono direttamente intervenire in modo automatico, assumendo il controllo della guida, come nel caso di alcuni veicoli prototipali. Inoltre, la comunicazione tra veicoli o tra un veicolo e un sensore posto lungo la strada, potrebbe permettere non solo di migliorare la sicurezza, ma anche di ridurre i fenomeni di congestione legati a condizioni di deflusso forzato.

L’utilizzo di sensori, il miglioramento dei dispositivi tecno-

*Il documento nella sua interezza è frutto del lavoro congiunto dei due autori.

logici e i risultati nel campo dell'intelligenza artificiale sono diventati sempre più frequenti nel settore dei trasporti, in particolare per implementare soluzioni cosiddette di "Sistemi Intelligenti di Trasporto" (o ITS, utilizzando l'acronimo inglese), il cui obiettivo è di migliorare la sicurezza e ridurre sia la congestione, che gli impatti ambientali. Metodi basati sull'uso di agenti intelligenti e sensori posti sulla strada sono stati analizzati per monitorare le condizioni di traffico [1], mentre algoritmi di tipo *map-matching* sono stati implementati per identificare i segmenti di strada dove un veicolo si sposta o risulta localizzato [2]; infine, sono state impiegate tecniche *fuzzy* per studiare sistemi semaforizzati attuati in base alla domanda [3].

Gli aspetti legati alla sicurezza, come pure l'opportunità di sviluppare commercialmente tali dispositivi, rendono i veicoli intelligenti uno dei settori di ricerca più attrattivi per l'industria automobilistica. A titolo di esempio, la Ford, attraverso l'*American Department of Transportation*, ha organizzato il consorzio *Crash Avoidance Metrics Partnership* (CAMP), con l'obiettivo di sviluppare linee di ricerca sui veicoli intelligenti, in particolare per garantire la sicurezza, migliorare l'esperienza di guida e ridurre la congestione veicolare [4].

Analogamente, il progetto "*Adaptive*", finanziato dalla Commissione Europea e coordinato dal Gruppo di Ricerca Volkswagen, ha per obiettivo lo sviluppo e la verifica di tecnologie che garantiscano un'interazione ideale di tipo cooperativo tra i conducenti, con l'obiettivo finale di realizzare sistemi automatici a bordo del veicolo [5].

Allo stato attuale, si possono identificare quattro tipi di automazione veicolare, che sono state testate soprattutto in autostrada: 1) guida assistita; 2) sistema parzialmente automatico; 3) sistema altamente automatico; 4) sistema completamente automatico.

Nei primi due casi, il conducente è assistito da sistemi automatici entro un certo limite, perché comunque può riprendere il controllo manuale della vettura ad ogni istante. In commercio esistono già alcuni tipi di veicoli di questo genere, per esempio il modello Volvo XC90.

Negli altri due casi, invece, il sistema automatico ha il controllo del veicolo ed un'eventuale ripresa manuale della guida è consentita entro certi limiti.

Qualunque sia il sistema, l'analisi delle caratteristiche del conducente e le relative reazioni in una corrente veicolare, che in ultima analisi produce la traiettoria del veicolo stesso, è uno dei fattori chiave per implementare sistemi automatici che possano contribuire ad aumentare la sicurezza e ridurre la congestione da traffico veicolare.

Per quanto riguarda le traiettorie, negli ultimi anni si è assistito ad un sempre più crescente utilizzo di GPS a bordo dei veicoli, utilizzati in particolare per identificare e seguire percorsi e per trovare località su mappa [6, 7]. Veicoli come taxi, mezzi pesanti e auto condivise, (*shared cars*) nei sistemi di *car sharing*, utilizzano sensori di tipo GPS in modo da poter comunicare la propria posizione

ad un centro di controllo ad intervalli prefissati di tempo. Questi dati sono quindi elaborati per ricostruire le traiettorie spaziali, che sono poi utilizzate per questioni di sicurezza (es., per taxi e mezzi pesanti), per rendere più efficiente l'uso delle risorse (es., auto condivise) e infine per analisi di traffico. In genere, la traiettoria veicolare è ricostruita a partire dall'individuazione successiva di due posizioni del punto-oggetto (veicolo).

Il problema di ricostruire la traiettoria veicolare quando la distanza tra due punti aumenta - ad es., nel caso di un basso tasso di campionamento di punti da GPS - è stato discusso in [8], dove gli autori hanno proposto un algoritmo *ST-Matching*, come pure in [9] Quddus & Washington (2015), dove invece è stato proposto l'algoritmo *stMM* con due pesi aggiuntivi per tenere conto del percorso più breve e della traiettoria veicolare. In [10] si utilizzano spostamenti rilevati tramite GPS per ricostruire un modello comportamentale di viaggio attraverso il confronto del comportamento osservato del conducente con un insieme predefinito di opportuni criteri. Oltre che per sistemi stradali, in [11] si è discusso l'utilizzo congiunto di sistemi GPS e sistemi informativi territoriali (*Geographical Information System*, GIS), per identificare le traiettorie degli aeromobili in movimento sul sedime aeroportuale, come punto di partenza per sistemi di controllo a terra in area aeroportuale.

In [12] è stato proposto un algoritmo migliorato di localizzazione spaziale basato sull'uso di telemetria radar, in modo da superare i problemi legati a segnali GPS deboli o assenti. L'algoritmo è stato verificato su veicoli aerei quadricotteri senza pilota. Infine, in [13] è stato applicato un modello GIS per generare mappe in modo semplice e conveniente. In questo contesto, l'obiettivo del presente lavoro è di ricostruire le traiettorie veicoli utilizzando dati ottenuti tramite GPS a partire da un sistema di comunicazione tra il veicolo e un centro di elaborazione dati.

In particolare, è stato effettuato un confronto tra l'*European Geostationary Navigation Overlay Service* (EGNOS) e il metodo *Real Time Kinematic* (RTK) per verificarne le rispettive prestazioni. Allo stesso tempo, si è utilizzata un'opportuna funzione GIS per rappresentare i punti rilevati. A partire dai punti identificati, si possono quindi ricostruire le traiettorie veicolari.

Si è utilizzata inoltre la funzione GSP di *track-recording*, che permette di memorizzare i cosiddetti *waypoints* - ossia insiemi di coordinate che identificano i punti in uno spazio fisico - ad una data frequenza temporale o per una data distanza spaziale.

Il metodo proposto, assieme ad altre tecniche, può essere utilizzato per fornire informazioni utili ai fini dell'implementazione di sistemi automatici a bordo dei veicoli che avvisino o assumano il controllo della guida nel caso in cui le condizioni esterne lo richiedano - ad es., durante manovre di sorpasso poco sicure, ostacoli imprevisti, interazioni con altri veicoli - e, in ultima analisi, per miglio-

rare le condizioni di deflusso e la sicurezza stradale in ambito urbano e metropolitano.

2. L'architettura proposta

La figura 1 (vedi Fig. 1) descrive lo schema operativo proposto in questo lavoro. Il veicolo invia i dati relativi alla propria posizione e alla propria velocità istantanea ad un sistema di elaborazione, che gestisce una base dati rappresentativa della rete stradale analizzata.

Quest'ultima è rappresentata tramite un grafo, in cui i nodi rappresentano punti singolari del sistema di trasporto (es., intersezioni, rampe di accesso/egresso) e gli archi le relazioni tra nodi (es., strade urbane, tronchi autostradali). Il sistema di elaborazione utilizza le informazioni ottenute per ricostruire la posizione del veicolo sugli archi stradali relativi al grafo che rappresenta il sistema di trasporto esaminato.

I sensori utilizzati per rilevare la posizione del veicolo non sono esenti da errori di misura, che si aggiungono all'errore di ricostruzione del percorso e possono ridurre, in modo anche consistente, l'accuratezza della stima.

Per superare questo tipo di problema, si è utilizzato un algoritmo di *map-matching*, la cui caratteristica è di fare uso di mappe digitali per migliorare e correggere gli eventuali errori di misura dei sensori di localizzazione.

Brevemente, un algoritmo *map-matching* associa la posizione identificata dal sensore a coordinate sulla rete stradale, attraverso il confronto tra la traiettoria del veicolo e i percorsi disponibili sulla mappa digitale.

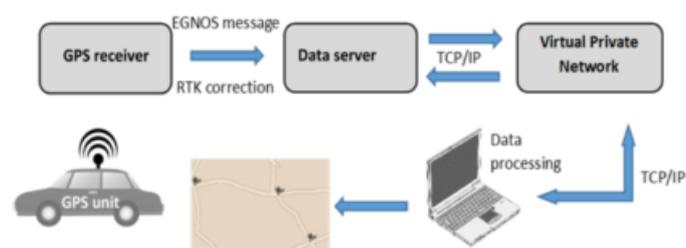


Fig. 1 - Schema operativo dell'architettura proposta.

Le componenti tecnologiche del sistema sono le seguenti: uno strumento per rilevare la posizione (GPS), uno strumento di trasmissione dell'informazione (telefono cellulare) e un centro di elaborazione dati, che comunica con l'ambiente esterno e include una componente GIS. Allo scopo di ottenere stime ad alte precisione della posizione di veicoli in movimento, come pure delle loro velocità e traiettorie all'interno di un sistema geodetico noto, si utilizzano dati GPS di fase e tecniche GPS differenziali e non-differenziali, dove il ricevitore di riferimento (*master*) è localizzato in una stazione di coordinate note in un sistema di riferimento geocentrico.

Per ottenere il posizionamento del veicolo si possono utilizzare due metodi: EGNOS e RTK. Il sistema EGNOS [14]

è largamente utilizzato perché in grado di fornire in modo rapido i dati di localizzazione. Al contrario, il metodo RTK [15] processa i dati in tempo reale per ottenere la posizione del punto oggetto.

Tale metodo è più preciso del metodo EGNOS, ma ha lo svantaggio di richiedere un maggior onere computazionale. Inoltre, l'uso di EGNOS richiede semplicemente l'utilizzo di strumenti commercialmente disponibili, mentre il metodo RTK richiede architetture software ad-hoc.

In questo lavoro, la maggior accuratezza del metodo RTK è confrontata con la semplicità e la velocità di computazione del metodo EGNOS per verificare potenziali future applicazioni in settori dove la rapidità di calcolo può essere più rilevante della precisione (ad es., manovre di sorpasso). A partire dalla fine degli anni '90 è stata introdotta una tecnica alternativa al *single-base-RTK*, chiamata *network-RTK*. Tale tecnica ha consentito di ottenere posizionamenti in tempo reale a livello centimetrico con grandi distanze fra ricevitore Master e Rover (dell'ordine dei 50 - 100 km).

Inoltre, è stata utilizzata la funzione *track-recording* delle unità GPS [16], che consente la memorizzazione di *waypoints* a una frequenza funzione del tempo (ogni t secondi) o della distanza (ogni x metri).

In particolare, la funzione di distanza *track-log* ha alcune interessanti proprietà:

- tutti i *waypoints* hanno lo stesso peso, perché corrispondono a segmenti di uguale lunghezza;
- tutte le sezioni stradali la cui lunghezza è maggiore della distanza di allineamento sono associate ad almeno una misura;
- ogni segmento di strada può essere associato a diverse misure modificando opportunamente la distanza di allineamento.

La funzione *track-log* produce una sequenza di *waypoints* che si trovano in posizioni specifiche e sono legati alla velocità. I dati raccolti con un ricevitore GPS, in particolare da veicoli in movimento e in prossimità di edifici, conterranno alcuni errori di ubicazione.

Pertanto, per ottenere buoni risultati, è necessario effettuare una regolazione spaziale nella quale le proiezioni degli assi stradali e le posizioni di misura corrispondono. Ogni punto deve essere assegnato ad una corrispondente sezione della strada in base alla sua posizione spaziale, in modo tale da poter ottenere statistiche associate ad ogni sezione.

3. Applicazione ad un caso test

L'architettura brevemente descritta nella sezione precedente è stata applicata ad un caso test. La stima delle precisioni di misura e restituzione della posizione puntuale e in tempo reale è stata effettuata grazie all'ausilio

di un sistema RTK-GPS opportunamente implementato, per stimare la percentuale di punti riposizionati che si discostano dal bordo strada di una quantità nota.

Inoltre, per rilevare e ridurre al minimo l'influenza di errori o condizioni di non fluidità del deflusso veicolare, sono stati utilizzati alcuni filtri:

- eliminazione di tutte le misurazioni i cui valori di velocità sono sotto una soglia prestabilita;
- esclusione di tutte le misurazioni effettuate a meno di 20 m dal bivio;
- eliminazione di tutte le misurazioni con un valore assoluto di accelerazione maggiore di 2 m/s^2 , che si ritiene sia causato da posizionamenti errati o traffico non scorrevole;
- eliminazione delle misure della velocità la cui differenza dal valore medio nella sezione è maggiore della tipica deviazione. In tal modo saranno eliminate le riduzioni di velocità causate da ingorghi, semaforizzazione, curve, pedoni;
- analisi approfondita delle sezioni di strada con deviazioni tipiche superiori a 10 km/h . Tali sezioni sono state suddivise in segmenti più piccoli per valutare la distribuzione spaziale di velocità.

In alternativa, le correzioni possono essere effettuate utilizzando i risultati ottenuti per sezioni adiacenti.

Con questi criteri, si escludono i dati anomali associati a traffico non scorrevole – ad es., per fermate ai semafori, attraversamenti pedonali, riduzione della velocità agli incroci, ingorghi.

In tal modo, saranno utilizzate solo le misure che si discostano secondo limiti accettabili dalle condizioni medie attese di traffico, per ogni sezione stradale. Infine, applicando i filtri sopra elencati, i valori di velocità ottenuti avranno una minore dispersione; in tal modo si dovrebbero evitare possibili incongruenze nei dati e si dovrebbero poter escludere errori di posizione da parte del ricevitore GPS.

La figura 2 (vedi Fig. 2) mostra il *map-matching* ottenuto utilizzando il metodo EGNOS (lato destro), e RTK (lato sinistro) per un veicolo test che si muove lungo una corsia stradale nella città di Reggio Calabria. Come si nota (vedi Fig. 2), e come atteso, il sistema RTK fornisce punti più vicini alla traiettoria ideale mantenuta dal veicolo test (ossia, lungo la mezzzeria della corsia).

Inoltre, i dati sono stati rappresentati utilizzando una funzione GIS che localizza i punti la cui distanza dalla traiettoria ideale (mezzzeria della corsia) è maggiore di un valore soglia prefissato.



Fig. 2 - Punti riprodotti tramite EGNOS (sulla destra) e RTK (sulla sinistra).

La figura 3 (vedi Fig. 3) mostra i risultati grafici ottenuti con entrambi i sistemi EGNOS (sul lato destro), e RTK (sul lato sinistro). Come si può notare, il metodo RTK fornisce risultati migliori di EGNOS, benché con un onere computazionale maggiore. Trattandosi di elaborazioni da effettuare con veicoli in movimento, si rende necessario l'uso di tecnologie radiomobili che possano instaurare un canale di comunicazione per ottenere i dati da processare. Le opzioni possibili, rimanendo su tecnologie disponibili in ambito commerciale, sono fondamentalmente di due tipi, ovvero Wi-Fi (IEEE 802.11) e rete cellulare. La scelta dell'una o dell'altra è, da una parte, fortemente vincolata ad alcuni parametri quali la topologia e gerarchia del sistema, e dall'altra dalle prestazioni che si desidera ottenere. Nel seguito sono brevemente riassunti i vantaggi e svantaggi di entrambe le soluzioni.

Wi-Fi:

- Vantaggi: costo molto contenuto; latenze bassissime, importanti nel caso l'applicazione sia real-time; semplicità di implementazione (ad esempio, rete ad hoc/Wi-Fi direct, ove le stazioni comunicano alla "pari" tra loro senza bisogno di un punto di accesso)
- Svantaggi: robustezza del canale soggetta ad alcuni limiti (ad es., la distanza tra le autovetture non deve eccedere una soglia massima, indicativamente sui 100 m, in buone condizioni con antenne a vista e non devono esserci ostacoli interposti tra loro); la qualità del segnale è fortemente influenzata da parametri quali la tipologia di antenna adottata, eventuali ostacoli, interferenze; impossibilità di avere una stazione di elaborazione in remoto dei dati, essendo la "rete" locale.

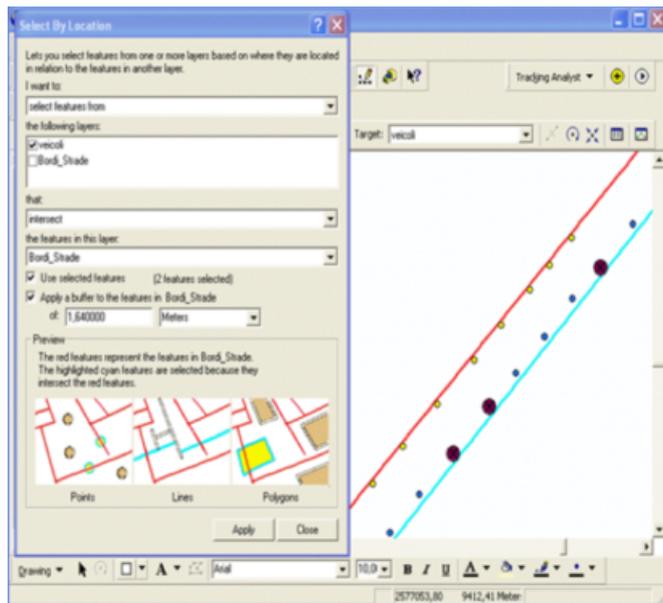


Fig.3 - Errori di posizionamento rappresentati attraverso un'opportuna funzione GIS.

Rete radiomobile cellulare:

(non è necessario mantenere una distanza minima tra le autovetture); possibilità di processare i dati da remoto, rendendo le autovetture dei semplici client che si occupano solo di fornire i dati.

- Svantaggi: costi più elevati, in quanto è necessario dotare ogni dispositivo di un modulo radiomobile e di una SIM card sulla quale è necessario attivare un piano dati (o comunque avere una qualsivoglia forma di contratto telefonico, anche con tariffazione a pacchetto); latenze estremamente più alte: la differenza è di tre ordini di grandezza (qualche millisecondo per Wi-Fi, interi secondi nel caso di rete radiomobile).

Dal punto di vista della realizzazione pratica, le possibilità sono varie, e dipendono dalla scelta di processare i dati in tempo reale piuttosto che offline, così come l'elaborazione in locale piuttosto che in remoto.

Chiaramente ogni potenziale soluzione comporta una serie di pro e di contro, legati soprattutto alla complessità attuativa dell'insieme hardware/software ed ai costi correlati. In ogni caso, l'elaborazione in tempo reale è più efficace rispetto all'obiettivo di realizzare strumenti automatici a bordo del veicolo.

Utilizzando elementi hardware disponibili commercialmente, come PC laptop, antenne GPS con connettività seriale (Bluetooth or USB) e antenne WiFi esterne dipolari, si può adottare un sistema di elaborazione dati in tempo reale.

Questo tipo di soluzione è la più completa e efficace dal punto di vista operativo, ma sicuramente più costosa e complessa da realizzare in quanto ogni veicolo dovrebbe essere equipaggiato con un PC laptop.

4. Conclusioni

La ricostruzione delle traiettorie è un importante punto di partenza per l'implementazione di strumenti a bordo del veicolo, il cui obiettivo finale è di migliorare la sicurezza della circolazione e ridurre la congestione, inclusi gli impatti ambientali.

In particolare, i veicoli automatici/autonomi possono trarre beneficio da strumenti capaci di ridurre il rischio associato a manovre di sorpasso.

Nello specifico, le traiettorie seguite dai conducenti durante tali manovre, così come i cambi di corsia, possono essere rilevate da un centro di gestione del traffico veicolare, allo scopo di monitorare le condizioni di deflusso. Le buone prestazioni del metodo RTK, combinate con l'efficacia delle funzioni GIS, aprono scenari promettenti per il monitoraggio delle condizioni di deflusso sulle strade urbane, e in ultima analisi per l'adozione di soluzioni efficienti ed efficaci che riducano gli impatti ambientali dovuti al traffico veicolare.

Come discusso nel presente lavoro, la soluzione RTK è più costosa e complessa da realizzare rispetto al più semplice metodo EGNOS, il cui vantaggio principale è legato alla rapidità computazionale. Tuttavia l'accuratezza che si può ottenere con il metodo RTK è superiore a quella ottenuta utilizzando il sistema EGNOS, e questo rende il metodo RTK un candidato appetibile per l'implementazione di dispositivi automatici a bordo del veicolo, in particolare per ottenere miglioramenti in termini di sicurezza e riduzione degli impatti ambientali

Bibliografia

- [1] Postorino M. N., Sarnè G. M. L., *An Agent-based Sensor Grid to Monitor Urban Traffic*. In: Proceedings of 15th Workshop on Objects and Agents (WOA-2014). CEUR, Vol. 1260, pp. 1 - 6, 2014
- [2] Quddus M. A., Ochieng W. Y., Noland R.B., *Integrity of map matching algorithms*. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 14 (4), pp. 283 - 302. 2006
- [3] Postorino M. N., Versaci M., *Upgrading urban traffic flow by a demand-responsive fuzzy-based traffic lights model*. In: International journal of modelling & simulation, n. 34, pp. 102-109, 2014
- [4] Ford corporate. Case study [<http://corporate.ford.com/microsites/sustainability-report-2011-12/vehicle-case-connected>], 2014
- [5] Volkswagen. European research project 'AdaptiveVe' develops features for automated driving, http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/en/news/2014/01/adaptive.html, 2014
- [6] Krumm J., *Trajectory Analysis for Driving*. In: Y. Zheng & X. Zhou (Eds) Computing with Spatial Trajectories, pp. 213 - 242, Springer, 2011
- [7] Barrile V., Bilotta G., *Self-localization by Laser Scanner and GPS in automated surveys*. In: N. Mastorakis & V. Mladenov (Eds), In: Computational Problems in Engineering. Lecture notes in electrical engineering, n. 307, pp. 293 - 313, Springer International Publishing Switzerland, 2014

- [8] Lou Y., Zhang C., Zheng Y., Xie X., Wang W., Huang Y., *Map-matching for low-sampling-rate GPS trajectories*. In: Proceedings of the 17th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, pp. 352 - 361, 2009
- [9] Guddus M., Washington S., *Shortest path and vehicle trajectory aided map-matching for low frequency GPS data*. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies, n. 55, pp. 328 - 339, 2015
- [10] Ciscal-Terry W., Dell'Amico M., Selini Hadjidimitriou N., Ioria M., *An analysis of drivers' route choice behaviour using GPS data and optimal alternatives*. In: Journal of Transport Geography, n. 51, pp. 119 - 129, 2016
- [11] Postorino M.N., Barrile V., Cotroneo F., *Surface movement ground control by means of a GPS-GIS system*. In: Journal of Air Transport Management, n. 12, pp. 375 - 381, 2006
- [12] Song Y., Xian B., Zhang Y., Jiang X., Zhang X., *Towards autonomous control of quadrotor unmanned aerial vehicles in a GPS-denied urban area via laser ranger finder*. In: Optik - International Journal for Light and Electron Optics, Vol. 126(23), pp. 3877 - 3882, 2015
- [13] Barrile V., Armocida G., Di Capua F., *Advanced thematic mapping: GIS/Neural networks application for tracking isoseismic lines*. In: WSEAS Transaction on Environment and Development, n. 5, pp. 435 - 444, 2009
- [14] Chen R., Toran-Marti F., & Ventura-Traveset J., *Access to the EGNOS signal in space over mobile-IP*. In: GPS Solutions, Vol. 7 (1), pp. 16 - 22, 2003
- [15] Al-Shaery A., Zhang S., & Rizos C., *An enhanced calibration method of GLONASS inter-channel bias for GNSS RTK*. In: GPS Solutions, Vol. 17 (2), pp. 165-173, 2013
- [16] Chu H.-C., Wu L.-W., Yu H.-M., & Park J.-H., *Digital Trails Discovering of a GPS Embedded Smart Phone - Take Nokia N78 Running Symbian S60 Ver 3.2 for Example*. In: Secure and Trust Computing, Data Management, and Applications, Vol. 187 of the series Communications in Computer and Information Science, pp. 41 - 49, 2011

