

## Datos GPS como conjuntos borrosos, aplicación a la verificación de taxímetros

José Ramón Villar	Adolfo Otero	José Otero	Luciano Sánchez
Dpto. Informática	Dpto. Informática	Dpto. Informática	Dpto. Informática
Universidad de Oviedo	Universidad de Oviedo	Universidad de Oviedo	Universidad de Oviedo
villarjose@uniovi.es	otero@lsi.uniovi.es	jotero@lsi.uniovi.es	luciano@uniovi.es.

### Resumen

Periódicamente los taxímetros deben verificarse en las condiciones más parecidas a las que existen durante su servicio. El método más habitual hasta el momento era utilizar una bancada de rodillos. Con la aparición de ABS, ESP, TCS, etc. este método no es adecuado, ya que las ruedas tractoras giran mientras que las del otro eje no. Además la medida es afectada por la presión de inflado de las ruedas. La alternativa que se propone es utilizar un GPS para realizar la verificación. Sin embargo los datos generados por un GPS son imprecisos, por lo tanto esta verificación es impugnabile. La alternativa es obtener una cota superior de la longitud de la trayectoria realizada por el taxi. De este modo se puede determinar con seguridad si un taxímetro no es válido. En este trabajo se propone la utilización de un algoritmo genético, restricciones basadas en la dinámica del vehículo y técnicas fuzzy para calcular la cota del error cometido por el taxímetro.

### 1. Introducción

Anualmente, cada vez que cambian las tarifas, los taxímetros deben verificarse en una ITV. La tarificación depende de la longitud del trayecto y de la velocidad con que se recorra. Para simular el recorrido en un trayecto de longitud conocida, un técnico de la ITV tendría que verificar constantemente la velocidad del vehículo y el kilometraje parcial, para aplicar en cada momento la tarifa correspondiente.

Además debería verificar el ajuste al trayecto. Esto no es posible, de modo que se requiere algún dispositivo que permita medir la velocidad y la distancia simultáneamente y calcular (de forma automática) el importe de la carrera simulada.

El grupo de Metrología y Modelos de la Universidad de Oviedo viene encargándose desde 1990 del diseño de los dispositivos que realizan esta tarea en Asturias. Hasta el momento, en la verificación de los taxímetros se utilizaba una bancada estática que dispone de unos rodillos sobre los que se sitúan las ruedas tractoras. La sucesiva incorporación a los turismos de dispositivos de seguridad activa (ABS, TCS, etc.) hacen imposible la utilización de este sistema. En este trabajo se propone la utilización de un receptor GPS y una PDA con el fin de recoger los datos de velocidad y distancia durante la realización de un trayecto. De esta forma la verificación puede ser realizada sin la supervisión de un inspector de la ITV, abaratando los costes derivados de la mano de obra. El sistema propuesto compatible con los sistemas de seguridad activa, robusto frente a la variación del radio de las ruedas y más barato que la bancada de rodillos.

El grado de imprecisión de los datos GPS no es constante, variando en cada medida, lo mejor que podemos hacer es proporcionar una cota superior del error cometido en la medida de la distancia.

Es importante tener en cuenta el marco legal de la verificación: se permite un error en la medida de la distancia del 10%. Durante nuestras investigaciones hemos encontrado que la

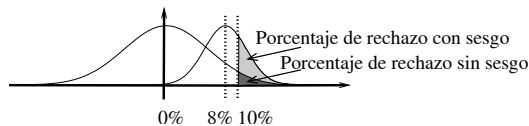


Figura 1: Distribución del error de los taxímetros: a la izquierda la esperada, libre de sesgo; desplazada hacia la tolerancia máxima, la real.

distribución del error cometido por los taxímetros está sesgada hacia el límite legal. Por lo tanto, pequeños cambios en la tolerancia producen un gran aumento de la tasa de rechazo. En la figura 1 se ilustra esta situación. Esto hace necesario calcular la mencionada cota de la forma más precisa posible y además de modo que se beneficie al propietario del taxi. En este trabajo proponemos calcular la Menor Cota Superior (MCS) de todas las trayectorias compatibles con las medidas proporcionadas por el GPS.

Partiendo de la naturaleza imprecisa de los datos, en este trabajo presentamos una nueva forma de calcular la MCS de una trayectoria. Mediante un algoritmo genético multiobjetivo se filtran los datos de entrada de modo que se obtenga el subconjunto de los mismos más pequeño que defina una multipoligonal *representativa* de los datos de entrada. La MCS se calcula a partir de esa multipoligonal mediante un heurístico determinista.

La estructura del trabajo es como sigue, en primer lugar se explica en la sección 2 la naturaleza de las medidas GPS y su interpretación borrosa. En la sección 3 se explica como se realiza el filtrado de los datos y el algoritmo determinista para el cálculo de la MCS. Finalmente, en la sección 4 se muestran los experimentos realizados y los resultados obtenidos.

## 2. La imprecisión de las medidas GPS

El término GPS (acrónimo de Global Positioning System) se refiere a un sistema formado por un conjunto de dispositivos (constelación de satélites y receptor) cuya misión es determinar la posición del receptor. El receptor recibe

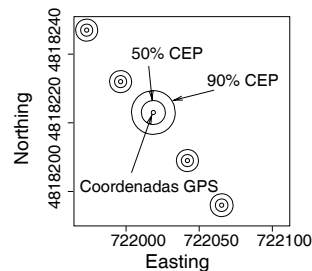


Figura 2: Ejemplo real de medidas GPS, mostrando como el CEP varía de una medida a otra.

de los satélites ciertas señales que le permiten calcular su longitud, latitud, altitud, número de satélites usados en la medida, etc.

Debido a perturbaciones en la atmósfera, desviaciones de los satélites, errores en el reloj de los satélites, errores del receptor y rebotes, es necesario disponer de mayor número de satélites que los cuatro con los que en teoría bastarían para obtener una medida correcta.

La precisión de la medida depende del número de satélites y de la configuración de la constelación. La influencia de este último factor se mide con la magnitud denominada Dilution of Precision (DOP).

Los GPS comerciales proporcionan una indicación de su precisión utilizando una magnitud denominada Circular Error Probable (CEP), que informa de la probabilidad de que el receptor se encuentre en un entorno de cierto radio alrededor de la medida. Por ejemplo 3 metros con un 50% de probabilidad, 7 metros con un 90% de probabilidad, a mayor probabilidad mayor CEP. A la hora de medir distancias, la componente horizontal (HDOP) del DOP es la más importante, ya que está estrechamente relacionada con el CEP.

En la figura 2 se muestra un ejemplo real de como el CEP puede variar de una medida a otra.

Es posible estimar de forma empírica los parámetros de una fórmula que relaciona el HDOP con el CEP para un modelo de receptor y antena determinado [12]. Esta expresión la utilizaremos en el proceso de simulación de toma de medidas empleado en los experimentos

realizados.

$$CEP = \left( -((A \cdot HDOP)^2 + B^2) \cdot \ln(1 - P(Err \leq CEP | HDOP)) \right)^{0.5} \quad (1)$$

En la ecuación 1,  $A$  y  $B$  se determinan de forma empírica para un receptor y antena específicos.

### 2.1. Coordenadas GPS como conjuntos borrosos

En el contexto de las probabilidades imprecisas, tiene sentido entender un conjunto borroso como un conjunto de tolerancias, cada una de ellas con un grado de confianza, siendo la de menor confianza la más pequeña [4]. En concreto, se dice que, dado un conjunto incompleto de intervalos de confianza para una variable aleatoria, podemos construir una variable aleatoria borrosa cuyos  $\alpha$ -cortes son intervalos de confianza de grado  $1 - \alpha$  [4], que contienen toda la información que conocemos sobre la variable aleatoria desconocida.

En el caso de las medidas obtenidas a través de un GPS el fabricante proporciona dos intervalos de confianza: al 50 % y al 90 %. Además, se puede comprobar que cuanto mayor sea el valor de la probabilidad mayor será el valor del CEP. Esto tiene un significado físico claro en el caso de las medidas GPS: cuanto mayor confianza se desee tener en la inclusión en el CEP de la posición en la que realmente se encuentra el receptor, la magnitud del CEP aumenta.

Por lo tanto, se puede comprobar que las medidas realizadas a través de un GPS cumplen la condición dada en [4], y podemos construir una variable aleatoria borrosa cuyos  $\alpha$ -cortes son círculos de confianza de grado  $1 - \alpha$  obtenidos a través de la ecuación 1. En este trabajo se considerarán los datos como conjuntos borrosos obtenidos de la manera indicada.

### 3. Cálculo de la MCS utilizando datos borrosos

Los datos GPS se toman a intervalos regulares. Tomar las medidas como coordenadas del

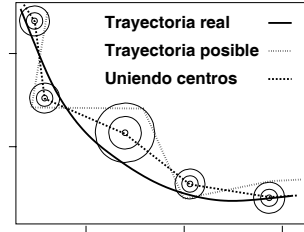


Figura 3: Ejemplo sintético en el que se aprecia la diferencia entre la trayectoria real, la trayectoria obtenida uniendo centros y una trayectoria compatible con las medidas GPS.

taxi para el cálculo de la distancia recorrida no es válido. En la figura 3 se muestra un ejemplo sintético en el que se pone de relieve esta cuestión.

Por este motivo necesitamos calcular la MCS de las trayectorias compatibles con las medidas GPS. Una aproximación a esa cota se puede conseguir construyendo una poligonal a partir de las tangentes a los CEP correspondientes a cada  $\alpha$ -corte. De esta forma la MCS en cada punto borroso pasaría por uno de los cortes de las tangentes a él. En la figura 4 se muestran dos ejemplos de las polygonales construidas de la forma indicada, para un  $\alpha$ -corte.

Esto presenta dificultades si intentamos calcular la longitud máxima de todos los trayectos lineales a trozos cuyos extremos están en los círculos. Es obvio que a menor tiempo de muestreo, más grande será la estimación de la MCS. Esto es inadecuado, la estimación debería de ser independiente del período de muestreo [9].

La alternativa más parecida a la que se presenta en este trabajo, a la vista de la bibliografía consultada, usa datos borrosos de una base de datos geográficos [1] para reconstruir imágenes tridimensionales mediante B-splines borrosos [2]. En este trabajo se pretende utilizar los datos borrosos sin defuzzificar, y generar una MCS que será, a su vez, borrosa.

El proceso de cómputo de la MCS está dividido en tres fases: filtrado de puntos colineales, filtrado de espúreos, y cálculo determinista de la MCS usando un heurístico; todo ello para cada  $\alpha$ -corte. El conjunto de datos de en-

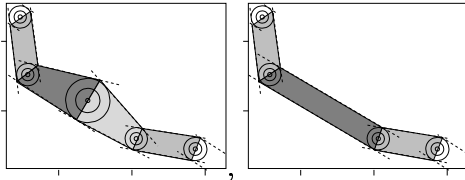


Figura 4: Ejemplo sintético en el que se muestra el proceso de simplificación de la poligonal.

trada puede representarse como un conjunto de círculos para cada  $\alpha$ -corte. Si se trazan las dos tangentes exteriores comunes a dos círculos consecutivos, y se determinan los puntos de cruce para cada par de tangentes consecutivas, se obtiene una superficie poligonal. La mayor trayectoria incluida en dicha poligonal representa la MCS. El resultado de todo el proceso es una MCS para cada valor de  $\alpha$ .

El filtrado de puntos colineales es un proceso determinista que consiste en eliminar los puntos tales que las tangentes al punto anterior y siguiente son la misma recta.

El filtrado de datos espúreos es más complejo, resultando un problema bicriterio: minimizar el área de la poligonal (eliminando puntos) y maximizar el número de puntos cubiertos de modo que la MCS sea representativa de la trayectoria seguida.

En la figura 4 se ilustra este proceso para uno de los dos  $\alpha$ -cortes. Como se aprecia, al eliminar uno de los puntos, el área de la poligonal ha decrecido. Como consecuencia de esto la MCS será menor, se ha reducido el espacio bidimensional en donde por donde se considera que ha podido pasar el vehículo. Sin embargo el punto podría ser representativo, por lo que es evidente que los objetivos son contrapuestos, de modo que se aborda la solución de este problema mediante un algoritmo genético multicriterio.

La dinámica del vehículo se usará como una restricción más del algoritmo genético multicriterio empleado, como se verá más adelante.

Finalmente, una vez realizado el filtrado, se aplicará un algoritmo determinista para el cálculo de la longitud de la mayor trayectoria contenida en la poligonal obtenida.

### 3.1. Evaluación de la dominancia de Pareto

Al igual que los datos de entrada son borrosos, las funciones de evaluación de los diferentes criterios también lo son. El área de la superficie poligonal y el porcentaje de datos contenidos en la poligonal varían con el valor de  $\alpha$  utilizado. Por lo tanto, cada individuo está valorado con dos números borrosos, y el problema es buscar un individuo que minimice el primero mientras maximice el segundo. Esto implica ordenar números borrosos.

La evaluación de la dominancia en problemas multicriterio según el criterio de optimalidad de Pareto requiere únicamente de relaciones de orden parcial que no presenten inconsistencias [7, 3].

En este trabajo se utiliza el concepto de  $\alpha$ -dominancia [13], evaluando cada individuo para cada valor de  $\alpha$ . Además, para establecer el orden parcial entre dos individuos, necesario para establecer la relación de dominancia, se utiliza el criterio de intersección nula para especificar un individuo dominante, tal y como se expone en [10].

### 3.2. Algoritmo genético multicriterio

Como algoritmo de optimización se plantea el uso de un algoritmo genético, dado que es conocido el buen comportamiento de este tipo de algoritmos en problemas con bajo número de generaciones e individuos [5]. En concreto, el algoritmo genético multicriterio utilizado es NSGA-II [5, 6].

#### 3.2.1. Codificación

En este trabajo, un individuo es representado como un vector booleano de puntos borrosos incluidos -no filtrados- en el individuo. Cuando un valor del vector es *true* el punto correspondiente está incluido por el individuo para determinar la poligonal. Cuando un valor del vector es *false* el punto correspondiente ha sido filtrado. Para generar un individuo en la población inicial, cada punto no extremo se incluye en aquél con probabilidad  $p$ . Los puntos

extremos del camino siempre estarán incluidos en los individuos.

### 3.2.2. Fitness

Cada candidato a solución se evalúa de la forma siguiente: en primer lugar se construye la cadena de poligonales para cada  $\alpha$ -corte de los datos seleccionados, usando las superficies tangentes a los puntos borrosos seleccionados. Se calcula el área de la poligonal para dicho  $\alpha$ -corte, así como el porcentaje de puntos cubiertos. Ambos objetivos son números borrosos y definen las funciones fitness del problema multicriterio. En concreto se utilizan el área de la poligonal y  $1 - \tau$ , donde  $\tau$  es el porcentaje de puntos cubiertos por la poligonal de modo que ambos criterios se minimizan. Para evaluar la dominancia de Pareto se utiliza el criterio de la  $\alpha$ -dominancia explicado anteriormente.

### 3.2.3. Operadores

Como operadores genéticos se utilizan el cruce y la mutación. Las definiciones de las operaciones de cruce y mutación deben reducir el número de vértices. Dados dos progenitores  $A$  y  $B$ , los descendientes son dos cadenas  $C$  y  $D$  tales que  $A \cap B \subseteq C$  y  $A \cap B \subseteq D$ ; un vértice  $v \in A - B$  tiene una probabilidad  $p^+$  de estar en  $C$ , un vértice  $v \in B - A$  tiene una probabilidad  $p^-$  de estar en  $C$ , donde  $p^-$  es mucho más pequeña que  $p^+$ . El conjunto  $D$  se construye de la misma forma. La mutación se define como la eliminación aleatoria de un punto no extremo de la cadena. Todo individuo incluirá el primer y último puntos, de forma que siempre incluirá el inicio y fin de trayecto.

### 3.3. Dinámica del vehículo como restricción adicional

Para cada velocidad existe un máximo ángulo de giro posible en una conducción normal, a mayor velocidad, menor ángulo de giro. Esta circunstancia se puede manejar como una restricción adicional en el proceso filtrado a través del algoritmo genético multicriterio. Cuando se tenga en cuenta la dinámica del vehículo en el filtrado, cada vez que se generen nuevos

individuos tras una operación genética se considerarán no válidos los que incluyan ángulos de giro mayores que el máximo admitido.

### 3.4. Heurístico determinista para el cálculo de la MCS

Una vez que los datos se preprocesan mediante el algoritmo genético, obteniendo el subconjunto más pequeño de vértices que representa el recorrido real, se calcula su MCS.

Para cada  $\alpha$ -corte de la  $B$ -spline borrosa que contiene la trayectoria del taxi, tenemos una cadena poligonal construida a base de trapezoides, como se ve en la figura 5. El sentido de la marcha se indica mediante una flecha. Cada vértice de un trapezoide se identifica mediante una pareja de enteros. Los que están a la izquierda de la flecha, según el sentido de la misma, tienen un cero como primer valor de ese par, los que están a la derecha un uno. El otro número es el índice del tramo. En cada tramo, la MCS pasa por  $(0, i)$  o por  $(1, i)$ . El conjunto de vértices que forman parte de la MCS puede ser determinado por exploración exhaustiva, pero este cálculo es muy costoso e impracticable para cualquier trayectoria real del orden de 200 puntos.

Debido a estas cuestiones usamos un heurístico que es lineal con el número de vértices. El heurístico se basa en la selección de los vértices convexos: cuando un vehículo gira, el trayecto más largo que puede recorrer pasa por el exterior de las curvas que tome. En caso de ambigüedad, se escoge el vértice más alejado (ver Figura 5)

## 4. Experimentos y resultados

Se ha evaluado el algoritmo propuesto en un recorrido realista que cubra las situaciones encontradas habitualmente en la verificación de un taxímetro, con varias curvas, aceleraciones y deceleraciones, cambios en HDOP, CEP derivados del número de satélites disponibles y su posición.

La trayectoria se ha muestreado cada segundo. Cada instante, con una probabilidad igual a 0.9, se selecciona un punto que dista del correspondiente de la trayectoria menos que el

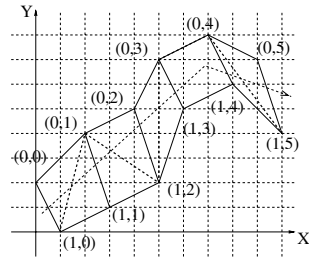


Figura 5: Ejemplo del cálculo de la MCS (línea gruesa a trazos) mediante el heurístico determinista.

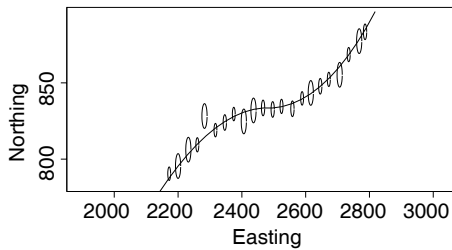


Figura 6: Parte de los datos usados en los experimentos. Los círculos (elipses por el escalado) representan las medidas GPS. La línea continua la trayectoria real. La mayor parte de los puntos (90 %) de la trayectoria están en el CEP.

CEP correspondiente a la mencionada probabilidad. Con probabilidad 0.1 el punto se toma más allá de este. Este procedimiento refleja la incertidumbre que ocurre cuando se usa un GPS y los datos obtenidos sirven para averiguar como de ajustadas son las MCS obtenidas con nuestro algoritmo. En la figura 6 se muestra parte de los datos generados. Las medidas GPS se representan como círculos (elipses en realidad, debido al escalado) con radio igual al CEP al 90 % y la trayectoria original como una línea continua. Como se puede observar, la mayor parte de los círculos (de hecho el 90 %) cortan a la trayectoria, es decir, el punto correspondiente de la trayectoria está en el círculo de radio CEP centrado en la medida.

Se realizaron dos experimentos con dos trayectorias generadas como se ha comentado, de tamaño 120 cada una. La primera mide 3228.57 m., la segunda 2741.31 m. Utilizan-

Parámetro	Valor			
No. Gen.	4000	6000	8000	10000
No. Ind.	15 or 25			
No. Pob.	1			
Mínimo % de puntos cub.	0.85			
Prob. $p^+$	0.5			
Prob. $p^-$	0.1			
Prob. de cruce	0.7			
Prob. de Mut.	0.1			

Cuadro 1: Parámetros utilizados para el algoritmo NSGA-II.

do las coordenadas de las medidas GPS para determinar la longitud se obtiene 3238.52 m. para la primera y 2696.49 m. para la segunda. Como se puede ver, es cierto que usando las medidas de GPS no se obtiene una cota superior, puesto que para el segundo caso la longitud a través de las medidas GPS es menor que la real.

Se realizaron dos tandas de experimentos. En la primera no se incorporó la restricción por la dinámica del vehículo y se utilizaron distintas combinaciones de número de individuos y generaciones, repitiendo 10 veces la ejecución del algoritmo con cada combinación. Los parámetros del algoritmo NSGA-II se muestran en la tabla 1. Los resultados de los experimentos (para el  $\alpha$ -corte al 90 %) se visualizan en la tabla 2 para la primera trayectoria y en la tabla 3 para la segunda. A la vista de los resultados no parece existir una mejora del rendimiento que justifique utilizar más de 4000 generaciones y 15 individuos. Por esa razón, los resultados que se muestran en la tabla 4 se corresponden con esa combinación de número de generaciones e individuos (para el  $\alpha$ -corte al 90 %).

A la vista de de estos resultados, el uso de la dinámica de los vehículos reduce enormemente la cota superior que se había obtenido en la primera tanda de ensayos. Manteniendo su condición de cota superior, las longitudes obtenidas son similares a las longitudes reales de las trayectorias, de modo que la estimación es más ajustada. Desde el punto de vista legal la

N° de gen.	N° de ind.	NSGA-II	
		Mejor	Medio
4000	15	3456.61	3499.48
6000	15	3462.01	3493.53
8000	15	3480.07	3501.01
10000	15	3483.20	3502.04
4000	25	3462.09	3494.41
6000	25	3429.14	3485.15
8000	25	3433.16	3490.54
10000	25	3417.43	3466.98

Cuadro 2: Resultados en la MCS para 10 ejecuciones de NSGA-II sin análisis de dinámica de vehículos, primera trayectoria.

N° de gen.	N° de ind.	NSGA-II	
		Mejor	Medio
4000	15	3126.99	3192.51
6000	15	3078.44	3216.72
8000	15	3156.23	3243.73
10000	15	3088.41	3211.55
4000	25	3168.87	3238.76
6000	25	3038.61	3210.98
8000	25	3146.52	3249.75
10000	25	3064.06	3181.56

Cuadro 3: Resultados en la MCS para 10 ejecuciones de NSGA-II sin análisis de dinámica de vehículos, segunda trayectoria.

Dataset	Longitud real	Con los GPS fixes
1	3228.57	3238.52
2	2741.31	2696.49

Dataset	NSGA-II	
	Mejor	Medio
1	3242.64	3243.45
2	2765.63	2798.01

Cuadro 4: Resultados para 10 ejecuciones de NSGA-II usando análisis de dinámica de vehículos.

estimación es incontestable, ya que es el resultado de favorecer lo más posible el propietario del taxi siendo compatible con las medidas GPS. Los experimentos se han realizado simulando la situación real: los puntos muestreados de la trayectoria sintética no se proporcionan al algoritmo sino que se proporcionan medidas GPS simuladas, teniendo en cuenta la naturaleza imprecisa de estas.

## 5. Conclusiones y trabajo futuro

El proceso de verificación mediante bancada de rodillos es incompatible con las medidas de seguridad activa. El uso de un GPS directamente, presenta problemas legales debido a su imprecisión. Se propone como medida alternativa a la longitud *nítida* la estimación de la MCS de modo que si el taxímetro está un 10 % por encima de esta cota superior, entonces no hay duda de que el taxímetro está mal calibrado.

La estimación de la MCS se ha realizado usando un algoritmo multicriterio borroso que pueda gestionar la inherente imprecisión de los datos generados obtenidos a través de dispositivos GPS. Además, lo específico del problema ha permitido la introducción de restricciones adicionales relacionadas con la dinámica del vehículo.

Los resultados muestran que ha sido posible realizar una estimación útil de la MCS tratando los datos acorde a su naturaleza imprecisa.

El trabajo futuro incluye el uso de distintos algoritmos evolutivos como recocido simulado con operadores genéticos, algoritmo más rápido y que produce mejores resultados en problemas multiobjetivo [10]. En el mismo sentido se deben probar distintos conceptos de dominancia borrosa, con el fin de estimar de forma más ajustada la MCS.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido subvencionado por el Ministerio de Educación y Ciencia Español, en el marco del proyecto TIN2005-08386-C05-05.

## Referencias

- [1] Anile A.M., Falcidieno B., Gallo G., Spagnuolo M., Spinello S., *Modeling uncertain data with fuzzy B-splines*, Fuzzy Sets and Systems 113:397-410, 2000.
- [2] de Boor C., *On Calculatin with B-splines*, Journal of Approximation Theory 6: 50-62, 1972.
- [3] Coello C.A., A Comprehensive Survey of Evolutionary-Based Multiobjective Optimization Techniques, Knowledge and Information Systems. An International Journal 1(3),269-308,1999.
- [4] Couso I., Montes S., Gil P., *The necessity of the strong alpha-cuts of a fuzzy set*, International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems 9-2:249-262, 2001
- [5] Deb K., Agrawal S., Pratab A., T. Meyarivan T., *A Fast Elitist Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm for Multi-Objective Optimization: NSGA-II*, En Marc Schoenauer, Kalyanmoy Deb, Günter Rudolph, Xin Yao, Evelyne Lutton, Juan Julian Merelo, and Hans-Paul Schwefel, editors, Proceedings of the Parallel Problem Solving from Nature VI Conference, 849-858, Springer. LNCS, 2000.
- [6] Deb K., Goel T, *Controlled Elitist Non-dominated Sorting Genetic Algorithms for Better Convergence*, In Eckart Zitzler, Kalyanmoy Deb, Lothar Thiele, Carlos A. Coello Coello, and David Corne, editors, First International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization, 67-81. Springer-Verlag. LNCS No. 1993, 2001.
- [7] Carlos M. Fonseca and Peter J. Fleming, *ultiobjective Optimization and Multiple Constraint Handling with Evolutionary Algorithms Part I: A Unified Formulation*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, 28 (1):26-37, 2998.
- [8] Koduru P., Das S., Welch S., Roe J.L., *Fuzzy Dominance Based Multi-objective GA-Simplex Hybrid Algorithms Applied to Gene Network Models*, Genetic and Evolutionary Computation GECCO 2004. Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference. Part I Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Science Vol. 3102.
- [9] Meratnia N., de By R.A., *Trajectory representation in location-based services : problems and solutions*, in Proceedings of the 3rd IEEE Workshop on Web and Wireless Geographical Systems (W2GIS 2003) in conjunction with the Fourth International Conference on Web Information Systems Engineering (WISE), Rome, Italy, 2003.
- [10] Sánchez L., Otero J., Villar J.R., *Boosting of fuzzy models for high-dimensional imprecise datasets*, in Proceedings of the Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems IPMU06, Paris, 2006.
- [11] Snyder, J. P., *Map Projections Used by the U. S. Geological Survey*, 2nd edition, Geol. Survey Bulletin 1532, 313 p., U. S. Government Printing Office, Washington, D. C., 1982.
- [12] Wilson, D., David L., *Wilson's GPS Accuracy Web Page*, <http://users.erols.com/dlwilson/gps.html>.
- [13] Zhang J., Pham B., Chen P., *Fuzzy Genetic Algorithms Based on Level Interval Algorithm*, In Kazmierczak, E, Eds. Proceedings The 10th IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 1424-1427, Melbourne, Australia, 2001.