



dirección

MODELO MATEMÁTICO DIFUSO PARA LA SELECCIÓN DE CARGAS CON POSIBLE FRAUDE ECONÓMICO EN LA ADUANA GENERAL DE LA REPÚBLICA DE CUBA

Resumen / Abstract

El fraude económico en las aduanas del mundo es una realidad cada vez más difícil de controlar, debido a la gran cantidad de cargas que llegan a un país, incluyendo a la cubana. Este trabajo propone un modelo matemático basado en la lógica difusa compensatoria y sistema de expertos para la selección de cargas que llegan del exterior, con el objetivo de detectar posibles fraudes económicos. El modelo fue simulado utilizando MATLAB como herramienta de programación y validado con ayuda de expertos en el tema utilizando predicados de la propia lógica difusa compensatoria.

Economical fraud in customs around all the world is a reality more and more difficult to control due to the great quantity of cargoes that arrives to the countries, even to Cuba. This document proposes a mathematical model based on compensatory logic for selection of cargoes coming from foreign countries with the aim of detecting possible economical frauds. This model was simulated using MATLAB as programming tool and validated with the help of experts in this topic and using logic predicates of the compensatory logic itself.

Palabras Clave/ Key words

Erick González Caballero, Licenciado en Matemática, Asistente, Departamento de Matemática y Computación, Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas (INSTEC), Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), Ciudad de La Habana, Cuba
e-mail:erickgc@instec.cu

Fraude económico, lógica difusa compensatoria, sistema experto
Economical frauds, compensatory logic, expert systems

Denise Muzaurieta Ladrón de Guevara, Ingeniera Industrial, Máster en Dirección, Aduana General de la República, Ciudad de La Habana, Cuba
e-mail:estruc@agr.aduana.cu

INTRODUCCIÓN

Las administraciones de aduanas del mundo desempeñan un papel esencial en la implementación de diversas políticas oficiales de vital importancia, y contribuyen al logro de numerosos objetivos relacionados con el desarrollo nacional. Para alcanzar esto es necesario el empleo de herramientas que permitan, de forma efectiva, la selección de los envíos que presentan un alto peligro de fraude y sobre ellos concentrar el control aduanero.

Este documento propone un modelo matemático basado en la lógica difusa compensatoria y sistema de expertos para la selección de cargas que llegan del exterior, con el objetivo de detectar posibles fraudes económicos.

El surgimiento de la lógica difusa es una oportunidad importante de generar los modelos formales que la nueva gestión necesita para convertir la empresa en una organización que aprende, en una empresa inteligente. La utilización del paradigma de la matemática difusa en cada vez más ramas de la ciencia fundamental y aplicada, constituye una auténtica revolución científica que está teniendo lugar en la actualidad.¹ Tal como señala Alfonso Sarriá: "La modelización de la conducta humana en base a la lógica bivalente de pertenencia o no pertenencia de un objeto a un subconjunto, no es el modelo más adecuado para formalizar estos procesos. Los pensamientos, las opiniones, los razonamientos, las decisiones y, en general, cualquier conducta humana obedecen más a criterios vagos que a criterios precisos".²

Rafael A. Espín Andrade, Licenciado en Matemática, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, Centro de Estudios de Técnicas de Dirección (CETDIR), Facultad de Ingeniería Industrial, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba
e-mail:espin@ind.cujae.edu.cu

Recibido: Octubre del 2007
Aprobado: Diciembre del 2007

En el campo de la toma de decisiones son necesarios esfuerzos teóricos asociados al nuevo paradigma lógico para el logro de mejores resultados, pues es deseable que los valores de verdad de las lógicas multivalentes posean sensibilidad a los cambios de los valores de verdad de los predicados básicos, lo que es difícil de lograr con los requerimientos axiomáticos tradicionales. "La lógica compensatoria es un nuevo sistema lógico multivalente que permite modelar el pensamiento deductivo y el de toma de decisiones en un mismo cuerpo teórico, partiendo de la idea de la compensatoriedad de los predicados básicos".³ Para lo que ha sido preciso renunciar a un grupo de axiomas que han caracterizado las lógicas multivalentes, y así lograr un sistema idempotente y sensible, con las virtudes de las escuelas descriptiva y normativa de la toma de decisiones:¹ De igual forma, las propiedades que satisface hacen posible de manera natural la traducción del lenguaje natural al de la lógica, incluidos los predicados extensos, si estos surgen del proceso de modelación.

Primero se hará una breve exposición de los detalles teóricos de la lógica difusa compensatoria, luego se expondrá el modelo matemático elaborado que aplica la lógica difusa compensatoria y el sistema de expertos en el problema de selección de cargas procedentes del exterior. Posteriormente se expondrán los resultados obtenidos en ejemplos de cálculos de casos simulados y finalmente se validarán los resultados utilizando la propia lógica difusa compensatoria.

LÓGICA DIFUSA COMPENSATORIA

Lo que diferencia a la lógica difusa compensatoria de otras lógicas difusas son las propiedades de sus operadores. En esta propuesta la negación es una función $n : [0 1] \rightarrow [0 1]$ continua estrictamente decreciente dada por $n(x) = 1 - x$, mientras que los operadores de conjunción (c) y de disyunción (d) son funciones y $c : [0 1]^n \rightarrow [0 1]$ respectivamente, donde a cada n -upla de valores de verdad del predicado se le asigna la media geométrica de estos n valores para la conjunción y el dual de la media geométrica para la disyunción, lo que garantiza que se cumplan las leyes de morgan; ambas funciones son continuas y estrictamente crecientes y por tanto existe en ellos *sensibilidad* a cualquier cambio en el valor de verdad de alguna variable del predicado, aunque también el cambio de valor de uno de estos valores puede ser compensado con el cambio del valor de otro, esto ocurre siempre que no se introduzca algún valor de verdad igual a 0 (absolutamente falso) en la conjunción o alguno igual a 1 (absolutamente verdadero) en la disyunción.

Los cuantificadores universal y existencial sobre el conjunto se definen como:

$$\forall x p(x) = \begin{cases} \frac{\int \ln(p(x))dx}{x} \\ e^{-\frac{\int \ln x dx}{x}} \end{cases}, \text{ si } p(x) > 0 \text{ para todo } x \in X \\ 0, \text{ en otro caso}$$

$$\exists x p(x) = \begin{cases} \frac{\int \ln(1-p(x))dx}{x} \\ 1 - e^{-\frac{\int \ln x dx}{x}} \end{cases}, \text{ si } p(x) > 0 \text{ para todo } x \in X \\ \text{respectivamente } 1, \text{ en otro caso}$$

Como operador de implicación se prefiere la implicación de Zadeh⁴ $i(x,y) = d(n(x),c(x,y))$ por sobre la natural $i(x,y) = d(n(x),y)$, puesto que esta última se basa implícitamente en la ley del tercero excluido de la lógica bivalente.

La lógica así definida no cumple con las propiedades clásicas de t -norma para el operador de conjunción y de t -conorma para el operador de disyunción, pero la propiedad de promediación que la diferencia de las demás, la desigualdades: propias de los promedios hacen que esta sea una lógica coherente con la teoría de la decisión tanto en sus variante normativa como en la descriptiva, porque los predicados de niveles superiores son más influyentes que los de niveles inferiores, además de la ya mencionada sensibilidad a los cambios de los valores de verdad.

MODELO MATEMÁTICO PARA UN SISTEMA EXPERTO DIFUSO EN LA SELECCIÓN DE CARGAS DE ALTO RIESGO

El modelo matemático se basa en un sistema de experto que se emplea en el proceso de análisis e inteligencia que mejorará la productividad al resolver y decidir los problemas más rápidamente. Se seleccionaron siete expertos pertenecientes al Departamento de Análisis e Inteligencia de la Aduana General de la República. Para esto se les aplicó la encuesta que mide el índice de experticia y se escogieron aquellos, cuyos índices fueron mayores de 0,7^{5,6}

Los fraudes económicos se clasificaron en cuatro tipos diferentes:

1. Por contrabando.
2. En valoración.
3. En clasificación arancelaria.
4. En país de origen.

Por otra parte, toda carga que llega al puerto constituye un peligro de fraude económico, este peligro se clasificó como *peligro histórico*: Aquello que ha resultado detectado como infracción y que consta como antecedente a esos efectos, y *peligro potencial*: Aquello que nunca ha resultado detectado pero su posibilidad de materialización es valorada con algún grado de posibilidad. Además, una carga puede ser peligrosa si se tienen alertas de peligro producto de informaciones provenientes de organismos externos (MININT, DNA, DTI, etc.) y/o aduanas extranjeras.

Para todos los tipos de fraude mencionados anteriormente se puede medir el peligro histórico, y el peligro potencial se puede medir para todos, excepto para el último mencionado.

Una carga se representará por una cuarteta ordenada

$$Ca = \{ I_p, P, S_p, P_p \} \dots(1)$$

donde:

- I_p : Importador.
- P : Proveedor.

S_p : Subpartida arancelaria.

P_p : País de procedencia.

Los modelos propuestos son los siguientes predicados compuestos que se ilustran a través de los predicados siguientes:

$$P(Ca) = P_p(Ca) \vee P_h(Ca) \wedge I_e \quad \dots(2)$$

$$P(Ca) = P_p(Ca) \vee P_h(Ca) \quad \dots(3)$$

donde:

$P_p(Ca)$: Peligro potencial.

$P_h(Ca)$: Peligro histórico.

I_e : Informaciones externas.

Ambos predicados responden a dos modelos que se diferencian entre sí por si se posee o no informaciones externas. Estos predicados representan al peligro total, después de haberse calculado los peligros histórico y potencial para cada tipo de fraude, o sea, para el contrabando $P_{cont}(Ca)$, la valoración $P_{val}(Ca)$, la clasificación $P_{cla}(Ca)$ y el país de origen $P_{po}(Ca)$.

Cada uno de estos peligros se calcula para cada tipo de infracción por separado, y son válidos en las siguientes combinaciones:

- $P(I_p, P)$: Peligro por relación importador/proveedor.
- $P(I_p, S_p)$: Peligro por relación importador/partida arancelaria.
- $P(S_p, P_p)$: Peligro por relación partida arancelaria/país de origen.
- $P(P, S_p)$: Peligro por relación proveedor/partida arancelaria.
- $P(I_p, S_p, P_p)$: Peligro por relación importador/partida arancelaria/país de origen.

Por lo que el peligro histórico se puede representar según el siguiente predicado:

$$P_h(Ca) = [P(I_p, P) \vee P(I_p, S_p) \vee P(S_p, P_p) \vee P(P, S_p)] \wedge D_f \quad \dots(4)$$

al que se le añade un peso (D_f) que denota el daño fiscal que presenta este peligro.

El peligro histórico se obtiene calculando el cociente:

$$\frac{\# \text{ infracciones}}{\# \text{ operaciones}} \quad \dots(5)$$

que es la estadística del número de veces que se encontró un fraude en la combinación que se estudia sobre el número de veces que se inspeccionó esta combinación y a este valor se le hace corresponder un valor de verdad, según una función de pertenencia sigmoïdal, que depende de dos parámetros: β llamado *valor casi inadmisibile*, que representa el valor máximo en que la razón calculada por la fórmula (5) es despreciable en cuanto a peligro (en este caso $\beta = 0,1$) y que es llamado *valor aceptable* que representa el valor máximo en que no se puede determinar si existe o no peligro (en este caso $\gamma = 0,3$). Si se llama

$\alpha = \frac{\ln(0,9) - \ln(0,1)}{\gamma - \beta}$, entonces la fórmula de la función sigmoïdal

$$\text{se da como: } S(x, \alpha, \gamma) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha(x-\gamma)}} \quad \dots(6)$$

En este caso

$$\alpha = \frac{\ln(0,9) - \ln(0,1)}{0,3 - 0,1} \approx 10,99$$

Para calcular el peligro potencial de la carga $P_p(Ca)$ se tuvo en cuenta que:

Una carga tiene peligro potencial por contrabando si:

- a) Tiene una alta demanda en el mercado negro nacional P_{ad} .
- b) Es de fácil sustracción P_{fs} .
- c) Se importan en grandes cantidades P_{gc} .
- d) Se importa con una alta frecuencia P_{af} .

$$P_{pcon}(Ca) = (P_{ad} \wedge P_{fs} \wedge P_{gc}) \vee P_{af} \quad \dots(7)$$

Una carga tiene peligro potencial por valoración si:

a) El precio de la mercancía esta fuera del rango de precio habitual.

b) El precio del flete está fuera del rango de precio habitual.

c) El precio del seguro está fuera del rango de precio habitual.

Lo que es expresado por el siguiente predicado

$$P_{pval}(Ca) = P_{pm} \vee P_{pf} \vee P_{ps} \quad \dots(8)$$

Una carga tiene peligro potencial por clasificación si:

a) La mercancía coincide con partidas de difícil clasificación.

b) La partida es similar a partidas de altas tarifas.

c) La partida es moneda nacional pero tiene una similar en CUC.

d. La partida es exenta de pago pero tiene una similar que no lo es.

e) La partida es similar a una que no se encuentra autorizada en su nomenclatura.

Lo que es expresado por el siguiente predicado:

$$P_{pcla}(Ca) = P_{dc} \vee P_{at} \vee P_{mn} \vee P_{ep} \vee P_{fi} \quad \dots(9)$$

El peligro potencial se calcula como la disyunción de los predicados obtenidos de las ecuaciones (7), (8), (9).

$$P_p(Ca) = P_{pcon}(Ca) \vee P_{pval}(Ca) \vee P_{pcla}(Ca) \quad \dots(10)$$

Una vez calculados estos peligros se está en condiciones, dado el nivel de riesgo obtenido, de seleccionar qué cargas van a ser objeto de control, a cuáles se les va a dar seguimiento para observar su futura evolución y cuáles circularán libremente a través de la frontera.

Para probar el funcionamiento de este modelo se empleó el asistente matemático MATLAB. La simulación del mismo fue utilizada para mostrarle los resultados del modelo a los expertos encargados de evaluar la validez de este último. Los datos utilizados forman parte de una base de datos que tiene registrados todos los casos posibles de las cuartetas según (1) por importador, proveedor, subpartida arancelaria y país de procedencia. Por cada cuarteta existe un registro de los tipos de infracciones cometidas según tipo de peligro histórico que aparece en (4) más cada una de las variables de peligro potencial, a estas últimas se les asigna valores dados por un analista.

EVALUACIÓN

Se contó con 9 expertos seleccionados según encuestas aplicadas, siguiendo los métodos establecidos y se llegó para cada uno de ellos a un coeficiente $K(i)$, al cuál se le hizo corresponder un valor de verdad para una función de pertenencia sigmoideal con $\beta = 0,4$ y $\gamma = 0,6$. A la imagen de por la función sigmoideal se le hizo corresponder un valor de verdad de 0,1 (casi falso) y a el valor de verdad 0,5 (tan verdadero como falso), siguiendo el criterio de los expertos.

Se calculó el valor de $\alpha = \frac{\ln(0,9) - \ln(0,1)}{0,6 - 0,4} \approx 10,99$ y la función sigmoideal con los parámetros de $\alpha = 10,99$ y $\gamma = 0,6$, tiene de la siguiente forma:

$$S(x; 10,99; 0,4) = \frac{1}{1 + e^{-10,99(x-0,6)}}$$

Como resultado de aplicarle a cada coeficiente de competencia $k(i)$ la función sigmoideal, se obtuvo por cada uno de los expertos un valor de verdad $E(i)$. Para la comprobación de los modelos propuestos se tomaron 10 casos resueltos y se realizaron los cálculos correspondientes, sometiendo los resultados a evaluación.

La solución obtenida en cada uno de estos casos (s) fue valorada por cada experto (i), los que emitieron un criterio comprendido entre 0 y 1 y que respondía a la pregunta ¿cuán cierto es que el modelo propuesto proporciona una respuesta óptima al caso (s)?. Esta valoración dada a cada caso (s) ofrecida por el experto (i) se representa por $C_i(s)$.

Seguidamente y partiendo de los valores de $E(i)$ y con los valores anteriores de $C_i(s)$ se obtuvo a través de la implicación de Zadeh $C(S) = \forall_i (E(i) \rightarrow C_i(S))$ (11), la veracidad de que todos los expertos consideran que el modelo proporciona respuestas óptimas al caso (s). En otras palabras, se determinó que, dado el alto nivel de experticia esto implica que los criterios ofrecidos por los expertos pueden considerarse como válidos.

Con estos valores obtenidos se calculó la veracidad total del modelo a través del predicado: $C_t = \forall_s C(S)$ (12), obteniéndose un resultado de 0,716 4, que significa que es algo verdadero, que el modelo propuesto es válido para el cálculo de los peligros y determinar si es necesario o no controlar cierta carga.

CONCLUSIONES

El modelo matemático propuesto cumple con todas las condiciones para ser utilizado en la selección de las cargas procedentes del exterior que serán inspeccionadas, puesto que se basa en la experiencia de los expertos y ha sido validado por los mismos con la ayuda de herramientas como la lógica difusa compensatoria.

La automatización del mismo permitirá una selección de las cargas con mucho más precisión y eficacia, porque tendrá en cuenta muchos más datos que los utilizados en la actualidad, sin el riesgo de cometer los errores propios de los humanos.

La lógica difusa compensatoria ha demostrado ser una nueva lógica difusa que puede ser utilizada en la modelación matemática de fenómenos complejos, incluyendo la validación de los mismos. Esto último es posible gracias a la coherencia de esta lógica con los presupuestos de la teoría de la decisión. \square

REFERENCIAS

1. **ESPÍN ANDRADE, RAFAEL:** "El paradigma de la lógica difusa: Oportunidades para la ciencia", Trabajo presentado como aspirante a la categoría de Profesor Titular, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Ciudad de La Habana, Cuba, junio, 2004.
2. **SARRIÁ ARRUFAT, A.:** *Conjuntos borrosos: Antecedentes, estructura y aplicaciones en psicología. Documentos del Laboratorio de Psicología Matemática*, Universidad Autónoma de Barcelona, 1984.
3. **ESPÍN ANDRADE, RAFAEL; EDUARDO FERNÁNDEZ GONZÁLEZ Y GUSTAVO MAZCORRO TÉLLEZ:** *Consideraciones sobre el carácter normativo de la lógica difusa compensatoria*, 2006.
4. **ZADEH, L. A.:** *Applied Soft Computing. Applied Soft Computing 1*, 2001.
5. **MUZAURIETA, D.; R. ESPÍN Y E. GONZÁLEZ:** "Modelo de un sistema experto fuzzy para la toma de decisiones en la selección de cargas de riesgo en la Aduana General de la República", *Memorias en CD-ROM del Evento Gestionando el Conocimiento*, 2007.
6. **—:** "Modelo de un sistema experto fuzzy para la toma de decisiones en la selección de cargas de riesgo en la Aduana General de la República", Tesis de Maestría, Cujae, Ciudad de La Habana Cuba, mayo, 2007.



<http://aprendist.cujae.edu.cu/home/index.htm>