

PRIORIZACIÓN DE REQUISITOS DE SOFTWARE MEDIANTE UN MODELO MULTI-EXPERTO MULTI-CRITERIO CON INFORMACIÓN HETEROGÉNEA .

Ameirys Betancourt-Vázquez¹, Karina Pérez-Teruel², Joel Ramírez-Domínguez³, Maikel Leyva-Vázquez²

¹ Instituto Superior Politécnico de Tecnologías e Ciências (ISPTEC), Luanda, Angola. ameirysbv@gmail.com

² Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba. karinapt@uci.cu

³ GEOCUBA División Oriente Norte, Holguín, Cuba. jdtpire@holguin.geocuba.cu

Resumen

Los ingenieros de software están implicados en decisiones complejas que requieren múltiples puntos de vista. Un caso específico es el proceso de priorización de requisitos. Este proceso es empleado para decidir qué requisito de software desarrollar en una iteración determinada a partir de un grupo de requisitos candidatos. Los criterios implicados en este proceso pueden ser de distinta naturaleza de forma tal que deban ser evaluados en diferentes dominios y los resultados deben ser mostrados en un dominio lingüístico. En el presente trabajo se desarrolla un modelo para la priorización de requisitos basado en un esquema de decisión lingüístico. La propuesta permite manejar información en distintos dominios (numéricos y lingüísticos) procedente de múltiples expertos y expresar los resultados en el dominio lingüístico. Se incluye un ejemplo ilustrativo para demostrar la aplicabilidad de la propuesta.

Palabras clave: requisitos de software, priorización de requisitos, computación con palabras, información heterogénea.

1. Introducción

La calidad del software está influenciada por la capacidad de satisfacer las necesidades del cliente descritas en los requisitos de software (Otero, Dell, Qureshi, & Otero, 2010). Múltiples modelos de priorización de requisitos han sido propuestos en la literatura (Aurum & Wohlin, 2005; Azar, Smith, & Cordes, 2007; Iqbal, Zaidi, & Murtaza, 2010; Logue & McDaid, 2008; Mead, 2008; Otero, et al.,

2010; Wei, Chien, & Wang, 2005). Sin embargo estas propuestas presentan dos limitaciones fundamentales:

- Falta de manejo de información de distinta naturaleza.
- Los resultados son mostrados de forma cuantitativa resultando difícil de entender por los ingenieros de software.

Con el fin de superar estas limitaciones previas, se propone en este trabajo un modelo para la priorización de requisitos contando con las siguientes características:

- Un proceso flexible en el cual los expertos puedan suministrar sus valoraciones en diferentes dominios (numéricos y lingüísticos) de acuerdo a la naturaleza de los criterios o sus propias preferencias. Con el fin de gestionar la información heterogénea esta es unificada en el dominio lingüístico usando el modelo de representación de las 2-tuplas lingüísticas (Herrera, Martínez, & Sánchez, 2005) con el propósito de desarrollar un proceso de computación con palabras (CWW por sus siglas en inglés) (Herrera, Alonso, Chiclana, & Herrera-Viedma, 2009) y proveer resultados lingüísticos.
- El modelo propuesto incluye un proceso de agregación en dos etapas que emplean la media ponderada (WA por sus siglas en inglés) y la media ponderada ordenada (OWA por sus siglas en inglés) para las dos tuplas lingüísticas. El operador ordered weighted averaging – weighted average (OWAWA) (J. M. Merigó, 2009) sobre las 2-tuplas (2-TOWAWA) provee una representación más flexible de los operadores WA y OWA debido a que incluye en su formulación la importancia de cada concepto y los incluye como casos particulares.
- Los resultados del proceso de priorización son suministrados en el dominio lingüístico. Este es más cercano a los modelos cognitivos de los humanos y es fácilmente interpretable.

En el proceso de priorización intervienen distintos implicados aproximándose al problema desde distintos ángulos. Adicionalmente es un problema multidimensional enfrentándose a criterios de distinta naturaleza (Herrera-Viedma et al., 2011). El modelo propuesto se basa en el esquema de análisis de las decisiones (Clemen, 1996).

El artículo continúa de la siguiente forma: la Sección 2 describe el esquema de análisis de las decisiones y la priorización de requisitos. La Sección 3 muestra el

enfoque de la computación con palabras en contextos heterogéneos. En la Sección 4 se presenta el modelo para la priorización de requisitos. La Sección 5 se centra en un ejemplo ilustrativo. El artículo finaliza con conclusiones y recomendaciones de trabajos futuros en la Sección 6.

2. Análisis de las decisiones y priorización de requisitos.

El análisis de las decisiones es una disciplina cuyo propósito es ayudar a los decisores a alcanzar una decisión consistente (M. Espinilla, Ruan, Liu, & Martínez, 2010). El proceso de priorización de requisitos puede ser clasificado en el contexto del análisis de las decisiones en un problema multi-experto multi-criterio de toma de decisiones (Pérez-Teruel, Leyva-Vázquez, & Espinilla-Estevez, 2013).

En la Figura 1 se muestra el esquema de un proceso de toma de decisiones (Clemen, 1996).

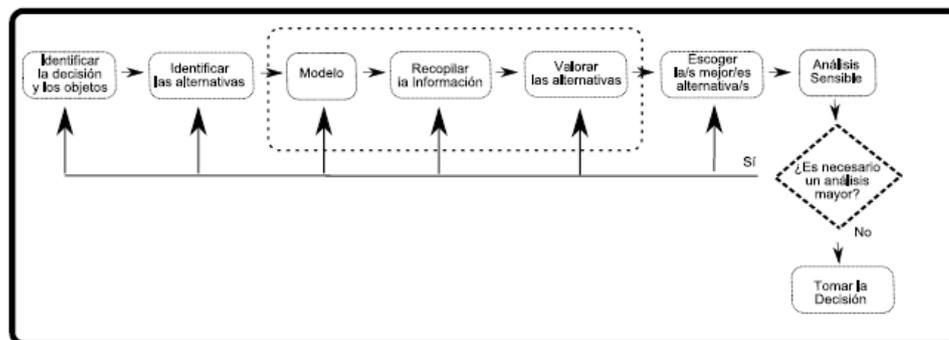


Figura 1. Esquema de un proceso de toma de decisiones(Espinilla Estévez, 2009).

En el presente artículo se trabajará con las actividades resaltadas. Adicionalmente resulta factible utilizar información heterogénea y transformando y agregando la información de forma tal que se obtenga una salida lingüística (Herrera, et al., 2005).

El proceso de priorización de requisitos de software puede ser modelado como un problema multi-experto multi-criterio (Ejnioui, Otero, & Qureshi, 2012; Ramzan, Jaffar, Iqbal, Anwar, & Shahid, 2009). Existen múltiples criterios de priorización que pueden ser modelados forma cuantitativa. Sin embargo otros presentan subjetividad, vaguedad e imprecisión. Estos criterios deberían ser evaluados de una forma cualitativa (Pérez-Teruel, et al., 2013).

3. Computación con palabras en contextos heterogéneos

En múltiples problemas prácticos y en especial problemas relacionados con la toma de decisiones resulta muy difícil expresar aspectos de la realidad de modo cuantitativo. La teoría de los conjuntos difusos o borrosos introducida por Zadeh (Zadeh, 1965) en el año 1965 es una forma de lidiar con este tipo de incertidumbre. Ella parte de la teoría clásica de conjuntos, añadiendo una función de pertenencia (Brio & Molina, 2001).

El enfoque lingüístico difuso tiene como base teórica la Teoría de los Conjuntos Difusos y especialmente el concepto de variables lingüísticas (Berthold & Hand, 2010; Garcia-Cascales & Lamata, 2010). Una variable lingüística puede ser definida de la siguiente forma:

Definición 1. Una variable lingüística (Cox, 2005; Garcia-Cascales & Lamata, 2010) se define por un quintuplo

$$(A, T(A), U, G, M) \tag{1}$$

Donde:

1. A es el nombre de la variable,
2. $T(A)$ es el término del conjunto de A , esto es, la colección de sus valores lingüísticos,
3. U es el universo de discurso de la variable,
4. G es una regla sintáctica para la generación de los elementos $T(A)$ y
5. M es una regla semántica para asociar un significado a cada valor.

El uso de variables lingüísticas implica la necesidad de realizar procesos de computación con palabras (Espinilla Estévez, 2009). El modelo de representación lingüístico basado en la 2-tupla lingüística fue presentado por Herrera y Martínez (Herrera & Martínez, 2000) para mejorar los problemas de pérdida de información en los procesos de computación con palabras con respecto a los otros modelos clásicos. Este modelo de representación define un conjunto de funciones para las operaciones con 2-tuplas.

Definición 2. Sea $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos y $\beta \in [0, g]$ un valor que representa el resultado de una operación simbólica, entonces la 2-tupla lingüística extendida que expresa la información equivalente a β , se obtiene empleando la función $\Delta: [0, g] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5)$ dado por:

$$\Delta(\beta) = (s_i, \alpha), \text{ with } \begin{cases} s_i, i = \text{round}(\beta) \\ \alpha = \beta - i, \end{cases} \tag{2}$$

donde round es el operador usual de redondeo, s_i es la etiqueta con índice más cercano a β y α es el valor de la traslación simbólica.

Es importante señalar que la función Δ es biyectiva (Herrera & Martínez, 2000) y $\Delta^{-1}: S \times [-0.5, 0.5) \rightarrow [0, g]$ es definida como $\Delta^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha$.

Los valores numéricos pueden ser convertidos a un dominio lingüístico (S_T) siguiendo un proceso de dos pasos (M. Espinilla, Andrés, Martínez, & Martínez, 2012; Macarena Espinilla, Palomares, Martínez, & Ruan, 2012). Primero se utiliza un función de transformación de los valores números en el intervalo $[0, 1]$ a $f(S_T)$. Posteriormente la información es transformada y obtenido el valor de β correspondiente para facilitar la interpretabilidad de los resultados.

4. Modelo propuesto

En la Figura 2 se muestran las distintas actividades que componen el modelo. Las mismas se detallan a continuación:



Figura 2. Proceso de priorización de requisitos con múltiples expertos e información heterogénea.

1. Establecer marco de priorización: Se seleccionan los expertos y criterios y los requisitos con el fin de priorizar estos últimos. El marco de trabajo queda definido de la siguiente forma:
 - $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ con $n \geq 2$ los expertos que participarán en el proceso.
 - $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ con $k \geq 2$ los criterios a ser evaluados.
 - $R = \{r_1, r_2, \dots, r_{jm}\}$ con $m \geq 2$ el conjunto de requisitos a ser priorizados.

2. Recogida de información: Se obtiene información sobre las preferencias de los decisores. Esta información representa la valoración de cada requisito con respecto a los criterios. El vector de utilidad (M. Espinilla, et al., 2012) es representado de la siguiente forma:

- $P_j^i = \{p_{j1}^i, p_{j2}^i, \dots, p_{jk}^i\}$, donde p_{jk}^i es la preferencia en relación al criterio c_k del requisito R_j por el experto e_n .

La valoración puede darse lingüísticamente o mediante un número real, según las preferencias del experto y las particularidades del criterio. En el caso de la valoración numérica se da en el intervalo $[0,1]$, siendo 0 el peor valor y 1 el mejor.

3. Homogenización de la información :

La información será homogeneizada en un dominio lingüístico específico (S_T) para esto se siguen los siguientes pasos

- a) Transformar los valores números entre $[0,1]$ a $f(S_T)$.

Definición 3.(Herrera, et al., 2005) Siendo $v \in [0,1]$ un valor numérico y $S_t = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos. La función de transformación numérica-lingüística $\tau NS_t: [0,1] \rightarrow F(S_t)$ es definida por:

$$\tau NS_t(v) = \{(s_0, \gamma_0), (s_1, \gamma_1), \dots, (s_g, \gamma_g)\}$$

con

$$\gamma_i = \mu_{s_i} = \begin{cases} 0, & \text{si } v < a \text{ o } v > d, \\ \frac{v-a}{b-a}, & \text{si } a < v < b, \\ 1, & \text{si } b \leq v \leq c, \\ \frac{d-v}{d-c}, & \text{si } c < v < d \end{cases} \quad (3)$$

donde $\gamma_i \in [0,1]$ y $F(S_t)$ es el conjunto de conjuntos difusos en S_t y μ_{s_i} es la función de pertenencia de la etiqueta lingüística $s_i \in S_t$

- b) Transformar las preferencias a 2-tuplas en S_t .

La información previamente unificada en S_t debe ser transformada para facilitar su interpretación. Con este fin se define la siguiente función:

Definición 4.(Herrera & Martinez, 2000) Dado el grupo de términos lingüísticos $S_t = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$, la función $\chi: F(S) \rightarrow [0, g]$ es definida por

$$\chi: (F(S_t)) = \chi(\{(s_j, \gamma_j), j = 0, \dots, g\}) = \frac{\sum_{j=0}^g j\gamma_j}{\sum_{j=0}^g \gamma_j} = \beta \quad (4)$$

donde el $F(S_t)$ es obtenido de τNS_t

Aplicando la función Δ a β (Definición 2) obtenemos la representación en lingüística en 2-tuplas.

4. Agregación de la información: Ocurre la agregación en el siguiente orden:
 - Se calcula el valor de prioridad para cada requisito de cada uno de los expertos utilizando operadores de agregación sobre la representación en 2-tuplas.
 - Finalmente se agrega y se obtiene la prioridad colectiva para cada requisito a partir de la agregación anterior.

Para la agregación de la información se propone la utilización del operador OWAWA con 2 tuplas (2-TOWAWA) basado en ordered weighted averaging weighted averaging (OWAWA) (J. Merigó, 2008) y definido por los autores de la siguiente forma:

Definición 5. Sea $A = \{(r_1, \alpha_1) \dots, (r_m, \alpha_m)\}$ un conjunto de 2-tuplas con un vector de ponderaciones un vector de ponderaciones W asociado, con $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ y $w_j \in [0,1]$ y un vector de pesos V asociado con el operador WA con $\sum_{i=1}^n v_i$ y $v_j \in [0,1]$. El operador 2-TOWAWA actúa como:

$$2 - TOWAWA(a_1, \dots, a_n) = H \sum_{j=1}^n w_j \beta_j^* + (1 - H) \sum_{j=1}^n w_j \beta_j \quad (5)$$

donde β_j^* es el j-ésimo más grande de los $\Delta^{-1}(r_i, \alpha_i)$ y $H \in [0,1]$

Los operadores media aritmética y OWA en dos 2-tuplas constituyen casos particulares de este operador.

5. Ordenamiento: El ordenamiento ocurre de mayor a menor a partir del valor global obtenido.

5. Ejemplo ilustrativo

A continuación se presenta un estudio de caso aplicado a un proyecto de desarrollo de software. Se trabaja en la priorización de un conjunto de requisitos pertenecientes a un sistema de información. Debido a la gran cantidad de información manejada se presenta una muestra reducida de la información obtenida 2 criterios (costo y valor) 2 requisitos y 2 expertos (Tabla 1).

Se selecciona el dominio, S_t donde la información será verbalizada. En este seleccionamos el S_t mostrado en la Figura 3.

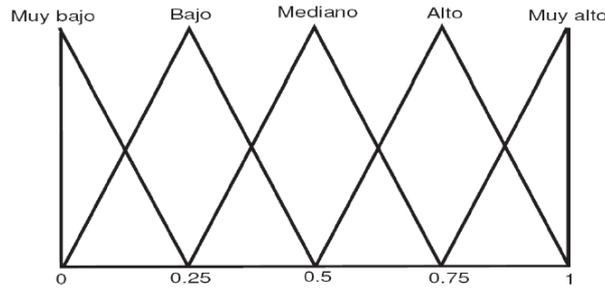


Figura 3. Domino seleccionado para verbalizar los resultados S_t .

Muy Alto (s_4)= (0.75, 1,1)

Alto (s_3)= (0.5, 0.75,1)

Mediano (s_2)= (0.25, 0.5, 0.75)

Bajo (s_1)= (0, 0.25, 0.5)

Muy bajo (s_0)=(0,0,0.25)

Un vez seleccionado el domino toda la información debe ser transformada en el mismo.

Tabla 1. Ejemplo demostrativo de las preferencias dadas por los expertos

	e_1		e_1	
	r1	r2	r1	r2
Importancia para los clientes	($S_4,0$)	($S_3,0$)	0.7	0.4
Valor	($S_2,0$)	($S_3,0$)	0.6	0.4

A continuación se realiza la unificación de la información utilizando la representación por 2-tuplas (Tabla 2).

Se realiza la agregación de la información obteniéndose una valoración para cada requisito utilizando el operador 2-TOWAWA (Definición 5). En este caso el $W=(0.7,0.3)$ y $V=(0.4,0.6)$ con $H=0.3$. En la tabla 3 se muestran los resultados de la agregación

Tabla 3. Ejemplo ilustrativo de la agregación de los resultados de cada requisito por cada experto.

	e_1	e_1

	r1	r2	r1	r2
Importancia para los clientes	(S ₄ ,0)	(S ₃ ,0)	(S ₃ ,-0.2)	(S ₂ ,-0.4)
Valor	(S ₂ ,0)	(S ₃ ,0)	(S ₂ ,0.2)	S ₃ ,0.2)
2-TOWAWA	(S ₃ ,-0.02)	(S ₃ ,0)	(S ₂ ,0.494)	(S ₃ ,-0.022)

Luego se calcula se agregan los valores obtenidos de cada experto teniendo en cuenta la fiabilidad de estos en este caso representada por el vector $V=[0.7,0.3]$

Tabla 4. Resultado de la agregación colectiva de las preferencias.

r1	(S ₃ , -0.1658)
r2	(S ₃ -0.0066)

En este caso el orden de los requisitos es el siguiente: $r1 > r2$.

El ejemplo ilustrativo muestra que nuestra propuesta presenta utilidad práctica. El proceso de agregación le brinda una alta flexibilidad de forma tal que puede ser adaptado a distintas situaciones. La interpretabilidad del resultado lingüístico es otra de sus fortalezas.

6. Conclusiones

En el presente trabajo se propuso un modelo para la priorización de requisitos con un enfoque de la computación con palabras en contextos heterogéneos. Un ejemplo ilustrativo mostró la aplicabilidad del modelo y su flexibilidad.

Entre los trabajos futuros se encuentran el empleo de operadores de agregación que permitan manejar las interrelaciones entre los criterios y el trabajo con múltiples escalas lingüísticas. El desarrollo de una herramienta informática que automatice el modelo es otra área de trabajos futuros.

7. Referencias

- Aurum, A., & Wohlin, C. (2005). *Engineering and Managing Software Requirements*. New York: Springer.
- Azar, J., Smith, R. K., & Cordes, D. (2007). Value-oriented requirements prioritization in a small development organization. *IEEE software*, 32-37.
- Berthold, M. R., & Hand, D. J. (2010). *Intelligent Data Analysis: An Introduction*: Springer.
- Brio, B. M. d., & Molina, A. S. (2001). *Redes Neuronales y Sistemas Borosos* (Segunda Edición ed.): Alfaomega.
- Clemen, R. T. (1996). *Making hard decisions: an introduction to decision analysis*: Duxbury Pres.

- Cox, E. (2005). *Fuzzy modeling and genetic algorithms for data mining and exploration*: Elsevier/Morgan Kaufmann.
- Ejnioui, A., Otero, C. E., & Qureshi, A. A. (2012). *Software requirement prioritization using fuzzy multi-attribute decision making*. Paper presented at the Open Systems (ICOS), 2012 IEEE Conference on.
- Espinilla Estévez, M. (2009). *Nuevos modelos de evaluación sensorial con información lingüística*. Universidad de Jaén, Jaen.
- Espinilla, M., Andrés, R. d., Martínez, F. J., & Martínez, L. (2012). A 360-degree performance appraisal model dealing with heterogeneous information and dependent criteria. *Information Sciences*.
- Espinilla, M., Palomares, I., Martínez, L., & Ruan, D. (2012). A comparative study of heterogeneous decision analysis approaches applied to sustainable energy evaluation. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 20(supp01), 159-174.
- Espinilla, M., Ruan, D., Liu, J., & Martínez, L. (2010). *A heterogeneous evaluation model for assessing sustainable energy: A Belgian case study*. Paper presented at the Fuzzy Systems (FUZZ), 2010 IEEE International Conference on.
- Garcia-Cascales, M. S., & Lamata, M. T. (2010). *Nueva aproximación al método tópsis difuso con etiquetas lingüísticas*. Paper presented at the ESTYLF 2010.
- Herrera-Viedma, E., Cabrerizo, F., Pérez, I., Cobo, M., Alonso, S., & Herrera, F. (2011). Applying Linguistic OWA Operators in Consensus Models under Unbalanced Linguistic Information. . In R. Yager, J. Kacprzyk & G. Beliakov (Eds.), *Recent Developments in the Ordered Weighted Averaging Operators: Theory and Practice* (Vol. 265, pp. 167-186): Springer Berlin / Heidelberg.
- Herrera, F., Alonso, S., Chiclana, F., & Herrera-Viedma, E. (2009). Computing with words in decision making: foundations, trends and prospects. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 8(4), 337-364.
- Herrera, F., & Martínez, L. (2000). An approach for combining linguistic and numerical information based on the 2-tuple fuzzy linguistic representation model in decision-making. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 08(05), 539-562.
- Herrera, F., & Martínez, L. (2000). A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on*, 8(6), 746-752.
- Herrera, F., Martínez, L., & Sánchez, P. J. (2005). Managing non-homogeneous information in group decision making. *European Journal of Operational Research*, 166(1), 115-132.
- Iqbal, M. A., Zaidi, A. M., & Murtaza, S. (2010). *A New Requirement Prioritization Model for Market Driven Products Using Analytical Hierarchical Process*. Paper presented at the International Conference on Data Storage and Data Engineering.
- Logue, K., & McDaid, K. (2008). *Handling uncertainty in agile requirement prioritization and scheduling using statistical simulation*.
- Mead, N. R. (2008). *Requirements Prioritization Case Study Using AHP*: Software Engineering Institute.

- Merigó, J. (2008). *New extensions to the OWA operators and its application in decision making*. Unpublished PhD Thesis, University of Barcelona, Barcelona.
- Merigó, J. M. (2009). *On the use of the OWA operator in the weighted average and its application in decision making*. Paper presented at the Proceedings of the World Congress on Engineering.
- Otero, C. E., Dell, E., Qureshi, A., & Otero, L. D. (2010). *A Quality-Based Requirement Prioritization Framework Using Binary Inputs*. Paper presented at the Fourth Asia International Conference on Mathematical/Analytical Modelling and Computer Simulation.
- Pérez-Teruel, K., Leyva-Vázquez, M., & Espinilla-Estevez, M. (2013). *A linguistic software requirement prioritization model with heterogeneous information*. Paper presented at the 4th International Workshop on Knowledge Discovery, Knowledge Management and Decision Support (EUREKA 2013),.
- Ramzan, M., Jaffar, M. A., Iqbal, M. A., Anwar, S., & Shahid, A. A. (2009). *Value based fuzzy requirement prioritization and its evaluation framework*. Paper presented at the Innovative Computing, Information and Control (ICICIC), 2009 Fourth International Conference on.
- Wei, C. C., Chien, C. F., & Wang, M. J. J. (2005). An AHP-based approach to ERP system selection. *International Journal of Production Economics*, 96(1), 47-62.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353.



www.sociedadelainformacion.com

Edita:



Director: José Ángel Ruiz Felipe
Jefe de publicaciones: Antero Soria Luján
D.L.: AB 293-2001
ISSN: 1578-326x