

# Análisis de Modelos de Variabilidad Ortogonal empleando Redes de Petri

Omar Cristian Martinez, Silvio Gonnet, Horacio Leone

INGAR, Instituto de Desarrollo y Diseño (UTN – CONICET)  
CIDISI, Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe  
{ocmartinez, sgonnet, hleone}@santafe-conicet.gob.ar

**Abstract.** Uno de los ejes centrales de una línea de producto de software (LPS) es la definición de su variabilidad. Ésta prescribe las características a ser incluidas y las reglas de inclusión durante la derivación de productos. Una forma de definir la variabilidad de una LPS es a través un modelo de variabilidad ortogonal (MVO) [3]. Sin embargo, las familias de productos obtenidas pueden presentar ciertos problemas de inviabilidad. En consecuencia, se propone una herramienta para representar y estudiar los MVO y detectar los problemas de inviabilidad.

## 1 Introducción

Una línea de productos de software (LPS) es un conjunto de sistemas de software que comparten y gestionan un conjunto de características y que son desarrollados a partir de un núcleo de software común [1]. Uno de sus principales beneficios proviene de la reducción de costos a partir del reuso de componentes y artefactos en varios productos. La ingeniería de una LPS es un paradigma de desarrollo de aplicaciones de software que identifica dos procesos: la ingeniería de dominio y la ingeniería de aplicaciones [2]. En términos de la variabilidad de una LPS, el primer proceso la define y el segundo la explota seleccionando las características específicas durante la derivación de productos. Tal definición es posible realizar mediante el modelo de variabilidad ortogonal (MVO) propuesto por Pohl y colab. [3]. Dado que la ingeniería de dominio es un proceso constante, el MVO subyacente debe adaptarse para dar soporte a las nuevas necesidades. Esta evolución puede dar origen a problemas de consistencia, un criterio clave a considerar en la ingeniería de una LPS [4]. Existen diversas propuestas [4,5] para formalizar la definición de la variabilidad y evitar tales inconvenientes. Lauenroth y Pohl [4] proponen un framework para detectar contradicciones en la ingeniería de dominio y Metzger y colab. [5] plantean la utilización de semántica formal para disipar ambigüedades.

En este trabajo se propone una herramienta para detectar las inconsistencias vinculadas a la viabilidad de configuraciones de productos, puntos de variación y variantes. Se emplea el formalismo de redes de Petri [6] como herramienta para el análisis de MVOs. Las propiedades de alcanzabilidad, acotación y L1-viva están estrechamente vinculadas a los problemas antes mencionados.

## 2 Modelo de Variabilidad Ortogonal

Un modelo de variabilidad ortogonal (MVO) define la variabilidad de una línea de producto de software. En la Fig. 1 se presenta el modelo de variabilidad ortogonal propuesto en [3]. Los elementos básicos de un MVO son los *Puntos de variación* y las *Variantes* (Fig. 1). Un *punto de variación* es una representación de un ítem variable del mundo real o una propiedad variable de tal ítem. Una *variante* es una representación de una instancia particular del ítem. Como vemos en la Fig. 1, puntos de variación y variantes pueden asociarse entre sí mediante *Dependencias de Variabilidad* o por *Dependencias de Restricción Punto de Variación-Variante*.

Una *Dependencia de Variabilidad* puede ser *Obligatoria* u *Opcional*. La primera indica que una variante es siempre incluida en un producto si su punto de variación asociado es incluido. Una dependencia opcional establece que la inclusión de un punto de variación puede (no necesariamente) incluir también la variante. Un conjunto de variantes opcionales (dos o más) junto a los valores máximo y mínimo (*max* y *min* en Fig. 1) definen una *Selección Alternativa*. Ambos valores establecen la cantidad de variantes que deberán ser incluidas junto al punto de variación.

Una *Dependencia de Restricción Punto de Variación - Variante* establece que la inclusión de una variante requiere (*Requiere V\_PV*, Fig. 1) o excluye (*Excluye V\_PV*, Fig. 1) un punto de variación. En el primer caso la selección de la variante está condicionada a la selección del punto de variación. En el segundo caso la relación establece que ambas son mutuamente excluyentes.

Finalmente, el MVO también define dependencias de restricción entre puntos de variación (y entre variantes). Una relación *Requiere PV\_PV* (*Requiere V\_V*) establece que la inclusión de un *Punto de Variación* (*Variante*) está condicionada a la selección de otro *Punto de Variación* (*Variante*). En el caso *Excluye PV\_PV* (*Excluye V\_V*) los *Puntos de variación* (*Variantes*) son excluyentes entre sí.

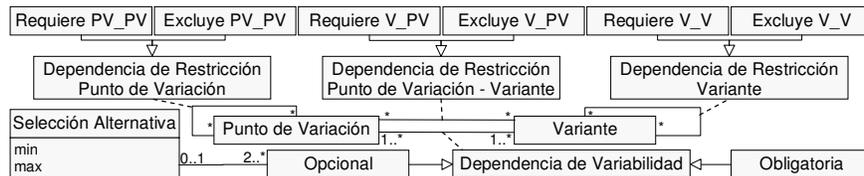


Fig. 1. Meta modelo MVO propuesto en [3].

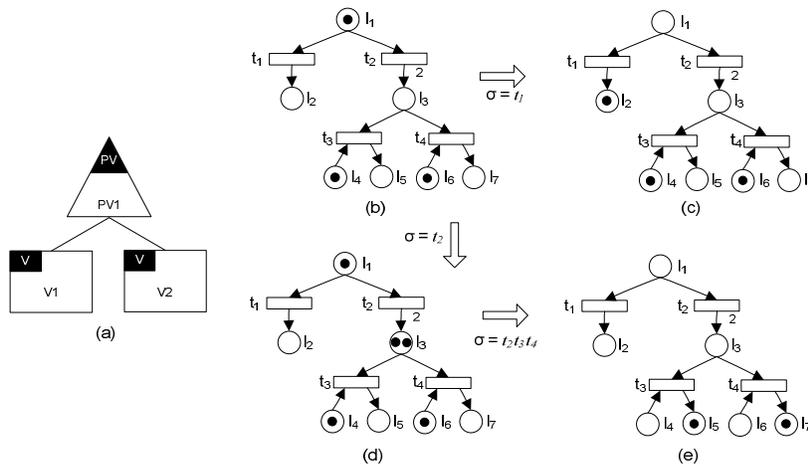
## 3 Topología propuesta: RP<sub>MVO</sub>

Una red de Petri es una herramienta de modelado matemático que permite estudiar la dinámica de eventos junto a sus precondiciones y post-condiciones [6]. Los elementos MVO junto a las actividades fundamentales de la ingeniería de aplicación pueden ser considerados según el enfoque evento/condición. La selección de puntos de variación y la selección de variantes realizadas durante la derivación de un producto corresponden a los eventos. Los puntos de variación, las dependencias de variabilidad y las dependencias de restricciones son las precondiciones que rigen tales eventos y se

representan mediante lugares. Finalmente las variantes incluidas son el resultado de la ocurrencia de los eventos, esto es, las post-condiciones, también representadas por lugares. En esta sección se definen las topologías propuestas para representar los elementos MVO a través de redes de Petri. Se aborda las topologías para el modelado de dependencias de variabilidad y de restricción. A partir de las topologías especificadas se persigue estudiar la dinámica de una red de Petri y mostrar la relación entre sus marcados ( $M$ ) y las posibles configuraciones del MVO subyacente. Los marcados de interés son aquellos que no tienen ninguna transición ( $t$ ) habilitada, es decir, que todas las decisiones de inclusión de puntos de variación y variantes fueron resueltas. De tales marcados, los lugares ( $l$ ) que corresponden a variantes reflejan una configuración probable de la línea de productos. Si consideramos a  $l_i$  como un lugar que representa una variante  $v_i$ ,  $M'$  el marcado de la red en un instante dado, y  $M'(l_i)$  la cantidad de fichas en  $l_i$  en el marcado  $M'$ ,  $M'(l_i)=1$  representa la selección de la variante  $v_i$ , y  $M'(l_i)=0$  indica la no inclusión de la variante  $v_i$ .

A continuación se presentan los distintos tipos de dependencia de variabilidad y restricción planteados por MVO (Fig. 1) junto a la topología propuesta.

*Dependencia de variabilidad obligatoria.* Una dependencia obligatoria (Fig. 1) establece que la consideración del *punto de variación* es condición suficiente para la inclusión de la *variante*. La Fig. 2 (a) muestra un MVO con el punto de variación  $PV1$  vinculado de manera obligatoria a las variantes  $V1$  y  $V2$ . A partir del modelo de la Fig. 2 (a) existen dos posibles configuraciones  $\{(), (V1, V2)\}$ . La primera ( $()$ ) no considera el punto de variación, mientras que la segunda  $(V1, V2)$  al considerar  $PV1$  incluye obligatoriamente a  $V1$  y  $V2$ . En la red propuesta en (Fig. 2 (b)) el lugar  $l_1$  corresponde a  $PV1$  y las transiciones  $t_1$  y  $t_2$  a los eventos de no selección y selección de  $PV1$  respectivamente. La única ficha en  $l_1$  habilita  $t_1$  y  $t_2$ , pero sólo una puede ser disparada. En caso de disparo de  $t_1$  ninguna otra transición queda habilitada y el punto de variación no es incluido (primera configuración,  $M(l_3)=M(l_7)=0$  en Fig. 2 (c)).



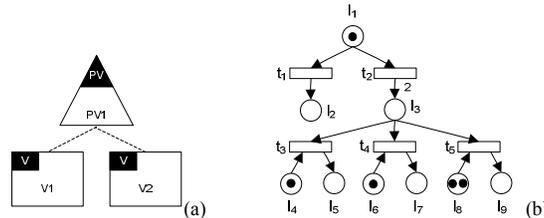
**Fig. 2.** Dependencia obligatoria. (a)  $PV1$  junto a sus variantes obligatorias  $V1$  y  $V2$ . (b) Red propuesta. (c) y (d) Red tras el disparo de  $t1$  y  $t2$ . (e) Red luego de la secuencia  $\sigma = t_2 t_3 t_4$ .

En la segunda alternativa, tras el disparo de  $t_2$ , dos fichas son depositadas en  $l_3$  (el peso del arco tiene valor 2, Fig. 2 (d)). Las transiciones  $t_3$  y  $t_4$  corresponden a la selección de  $V1$  y  $V2$  respectivamente. Ambas comparten como entrada a  $l_3$ , pero individualmente tienen a  $l_4$  y  $l_6$ . Los lugares  $l_4$  y  $l_6$  tienen su origen debido a dos posibles situaciones:  $l_3$  puede tener más de una ficha o la variante puede estar asociada a más de un punto de variación. En ambos casos  $l_4$  y  $l_6$  condicionan que  $t_3$  y  $t_4$  puedan dispararse a lo sumo una vez. Las dos fichas en  $l_3$  habilitan las transiciones  $t_3$  y  $t_4$ . Luego del disparo de estas últimas (en cualquier orden), las variantes  $V1$  y  $V2$  están incluidas ( $M(l_5)=M(l_7)=1$ , Fig. 2 (e)).

*Dependencia de variabilidad opcional.* Una dependencia opcional establece que la consideración de un punto de variación es condición necesaria (no suficiente) para la inclusión de la variante. La Fig. 3 (a) ilustra un MVO con el punto de variación  $PV1$  vinculado a las variantes  $V1$  y  $V2$  por este tipo de dependencia. A partir de este MVO surgen las siguientes configuraciones  $\{(), (V1), (V2), (V1,V2)\}$ .

La topología propuesta (en Fig. 3 (b)) es similar al caso anterior (Fig. 2(b)) con el adicional de la transición  $t_5$  y los lugares  $l_8$  y  $l_9$ . Por su parte  $t_5$  corresponde al evento de no selección de variante, mientras que  $l_8$  y  $l_9$  representan la cantidad de no selecciones potenciales y efectivas respectivamente. La cantidad de fichas de  $l_8$  coincide con la cantidad de variantes (2). Como en el caso anterior, luego del disparo de  $t_1$  no hay transición habilitada. El marcado de la red es  $M(l_5)=M(l_7)=0$  (primera configuración). Sin embargo, el disparo de  $t_2$  (selección del punto de variación) habilita  $t_3$ ,  $t_4$  y  $t_5$  y cada secuencia de disparo corresponde a una configuración:

- 1)  $\sigma = t_2 t_5 t_5 \Rightarrow M(l_5)=0, M(l_7)=0$ , configuración  $()$ .
- 2)  $\sigma = t_2 t_3 t_5$  y  $\sigma = t_2 t_5 t_3 \Rightarrow M(l_5)=1, M(l_7)=0$ , configuración  $(V1)$ .
- 3)  $\sigma = t_2 t_4 t_5$  y  $\sigma = t_2 t_4 t_3 \Rightarrow M(l_5)=0, M(l_7)=1$ , configuración  $(V2)$ .
- 4)  $\sigma = t_2 t_3 t_4$  y  $\sigma = t_2 t_4 t_3 \Rightarrow M(l_5)=1, M(l_7)=1$ , configuración  $(V1, V2)$ .

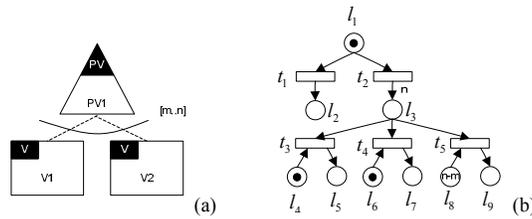


**Fig. 3.** Dependencia opcional. (a)  $PV1$  junto a sus variantes opcionales. (b) Red propuesta.

*Dependencia de variabilidad opcional, opción alternativa.* Una selección alternativa establece que la consideración de un punto de variación es condición suficiente para la inclusión de al menos  $m$  (cardinalidad mínima, min en Fig. 1) y a lo sumo  $n$  (cardinalidad máxima, max en Fig. 1) variantes. La Fig. 4 (a) presenta un MVO con el punto de variación  $PV1$  asociado a las variantes  $V1$  y  $V2$  por una selección alternativa. Con  $m=0$  y  $n=1$  el conjunto de configuraciones es  $\{(), (V1), (V2)\}$ . La topología propuesta (Fig. 4 (b)) es similar al caso anterior (Fig. 3 (b)) a excepción del peso del arco que vincula  $t_2$  y  $l_3$  y del marcado inicial del lugar  $l_8$ . El arco con peso  $n$  establece la cantidad máxima de selecciones de variantes (disparos de las transiciones  $t_3$ ,  $t_4$ ). El

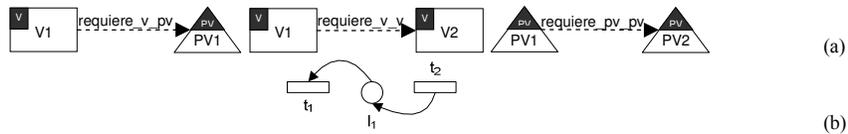
marcado inicial de  $l_8$  condiciona a  $n-m$  la cantidad máxima de no selecciones (disparos de la transición  $t_5$ ). En otras palabras  $m$  fichas deberán ser consumidas por  $t_3$  o  $t_4$ . Estas son las secuencias de disparo y la configuración que representan:

- 1)  $\sigma = t_1 \Rightarrow M(l_5)=0, M(l_7)=0$ , configuración ( $\emptyset$ ).
- 2)  $\sigma = t_2 t_5 \Rightarrow M(l_5)=0, M(l_7)=0$ , configuración ( $\emptyset$ ).
- 3)  $\sigma = t_2 t_3 \Rightarrow M(l_5)=1, M(l_7)=0$ , configuración ( $V1$ ).
- 4)  $\sigma = t_2 t_4 \Rightarrow M(l_5)=0, M(l_7)=1$ , configuración ( $V2$ ).



**Fig. 4.** Selección alternativa. (a)  $PV1$  y las variantes opcionales  $V1$  y  $V2$  relacionadas por una selección alternativa. (b) Red propuesta.

*Dependencia de restricción requiere.* La Fig. 5 (a) muestra las dependencias *Requiere\_V\_PV*, *Requiere\_V\_V* y *Requiere\_PV\_PV*. La topología propuesta para estos casos se presenta en la Fig. 5 (b). Las transiciones  $t_1$  y  $t_2$  corresponden a los eventos de selección de punto de variación o variante y el lugar  $l_1$  representa la restricción. El disparo de  $t_2$  (evento condicionante) deposita una ficha en  $l_1$  habilitando la transición  $t_1$  (evento condicionado).



**Fig. 5.** Dependencias requiere. (a) Las tres dependencias propuestas en MVO. (b) Topología propuesta para los tres casos.

*Dependencia de restricción excluye.* Las dependencias de tipo excluye pueden ser *Excluye\_V\_PV*, *Excluye\_V\_V* o *Excluye\_PV\_PV*, todas ellas ilustradas en la Fig. 6 (a). En la topología propuesta (Fig. 6 (b)) las transiciones  $t_1$  y  $t_2$  corresponden a los eventos de selección de punto de variación o variante excluyente entre sí. El lugar  $l_1$  representa la restricción y dado que posee una única ficha, el disparo de  $t_1$  o  $t_2$  inhabilita automáticamente a la restante.

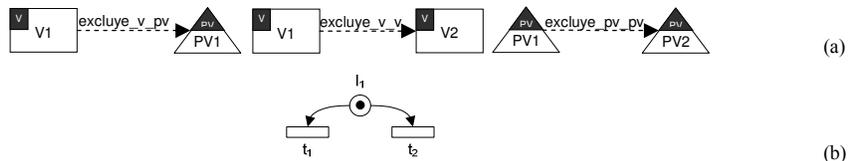
#### 4 Discusión y conclusiones

En este trabajo se presentó  $RP_{MVO}$ , la definición de la topología de una red de Petri que permite la representación y estudio formal de los MVO. El análisis de ciertas propiedades de las redes obtenidas revela problemas de consistencia del MVO

subyacente. Las propiedades acotación y alcanzabilidad son útiles para detectar la inviabilidad a nivel de configuración. Los nodos del grafo de alcanzabilidad representan todas las posibles configuraciones de la línea de productos. Los de mayor interés son los nodos terminales, aquellos que no tienen ninguna decisión pendiente sobre la inclusión o no de variantes o puntos de variación. La propiedad L1-viva es apropiada para descubrir la inviabilidad a nivel de punto de variación y variante. Si toda transición es potencialmente disparable, cualquier punto de variación y variante serán incluidos al menos en una configuración.

La topología propuesta se empleó para estudiar la variabilidad del pago electrónico de una LPS. A partir del grafo de alcanzabilidad de la red de Petri se detectó la inviabilidad de un subconjunto de variantes. Se verificó que éstas se excluían mutuamente de manera indirecta por dependencias de restricción en el MVO.

En relación a los trabajos futuros se proyecta extender el estudio de otras propiedades de redes de Petri en el marco de una  $RP_{MVO}$ , como ser la distancia sincrónica. Esta propiedad es una métrica del grado de relación entre transiciones y puede emplearse para obtener información cualitativa sobre las dependencias del MVO subyacente.



**Fig. 6.** Dependencias excluye. (a) Las tres dependencias propuestas en MVO. (b) Topología propuesta para los tres casos.

*Agradecimientos.* Se agradece el apoyo brindado por CONICET, la Universidad Tecnológica Nacional y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PAE-PICT 02315).

## Referencias

1. Software Engineering Institute, Carnegie Mellon: A Framework for Product Line Practice, Version 5.0. [http://www.sei.cmu.edu/productlines/frame\\_report/index.html](http://www.sei.cmu.edu/productlines/frame_report/index.html) (2009)
2. van der Linden F., Schmid K., Rommes E.: Software Product Lines in Action: The Best Industrial Practice in Product Line Engineering. Springer Heidelberg (2007)
3. Pohl K., Böckle G., van der Linden F.: Software Product Line Engineering: Foundations, Principles, and Techniques. Springer Heidelberg (2005)
4. Lauenroth K., Pohl K.: Dynamic Consistency Checking of Domain Requirements in Product Line Engineering. In: 16<sup>th</sup> IEEE International Requirements Engineering Conference, pp. 193-202 (2008)
5. Metzger A., Heymans P., Pohl K., Schobbens P., Saval G.: Disambiguating the Documentation of Variability in Software Product Lines. In: 15<sup>th</sup> IEEE International Requirements Engineering Conference, pp. 243-253 (2007)
6. Murata T.: Petri Nets: Properties, Analysis and Applications. Proceedings of the IEEE, Vol. 77:4 (1989)