



El producto tensorial de conjuntos dendroidales

Roger Brascó Garcés

9 de Febrero de 2022

Departamento de Matemáticas e Informàtica
Universidad de Barcelona

Introducción

1. Nociones previas
2. Árboles como operadas
3. Conjuntos dendroidales
4. Producto tensorial
5. Conjunto de shuffles

Nociones previas

Nociones previas

- Categorías
- Funtores
- Opéradas coloreadas

Definición

Una *opérada* P consiste en una sucesión de conjuntos $\{P(n)\}_{n \geq 0}$ junto con la siguiente estructura:

- Un elemento *unidad* $1 \in P(1)$.
- Un *producto composición*

$$P(n) \times P(k_1) \times \cdots \times P(k_n) \longrightarrow P(k)$$

para cada n y k_1, \dots, k_n tal que $k = \sum_{i=1}^n k_i$.

- Para cada $\sigma \in \Sigma_n$ una *acción por la derecha* $\sigma^*: P(n) \rightarrow P(n)$.

Además el producto composición es asociativo, equivariante y compatible con la unidad.

Definición

Sea P una opérada C -coloreada y Q una opérada D -coloreada. Un *morfismo de opéradas* $f: P \rightarrow Q$ consiste en una aplicación entre los conjuntos de colores $f: C \rightarrow D$ y aplicaciones

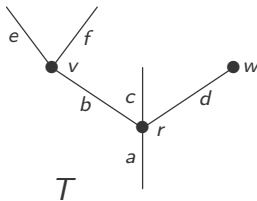
$$f_{c_1, \dots, c_n; c} : P(c_1, \dots, c_n; c) \longrightarrow Q(f(c_1), \dots, f(c_n); f(c))$$

compatibles con el producto composición, las unidades y la acción del grupo simétrico.

Árboles como opéradas

Formalismo de árboles

Sea T el siguiente árbol:



Árboles como opéradas coloreadas

Definición

Sea T un árbol planar con raíz. Denotaremos la opérada coloreada no-simétrica generada por T como $\Omega_p(T)$.

Definición

Sea T un árbol con raíz. Denotaremos la opérada coloreada simétrica generada por T como $\Omega(T)$.

Ejemplo

Sea T un árbol binario de un solo vértice v , entonces $v \in \Omega(T)(b, c; a)$.

Definición

La *categoría de árboles planares con raíz* Ω_p es la subcategoría plena de la categoría de opéradas coloreadas no-simétricas cuyos objetos son $\Omega_p(T)$ para cada árbol T .

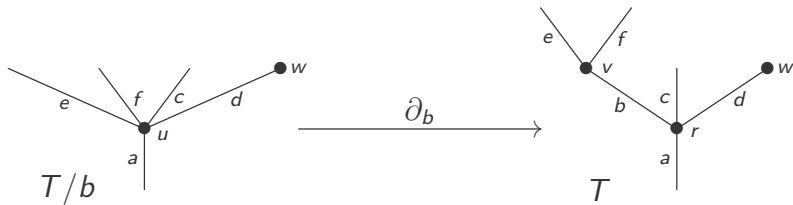
Definición

La *categoría de árboles con raíz* Ω es la subcategoría plena de la categoría de opéradas coloreadas cuyos objetos son $\Omega(T)$ para todo árbol T .

Morfismos en Ω_p y Ω

Ejemplo

Cara interna



Conjuntos dendroidales

Definición

La categoría $dSets$ de *conjuntos dendroidales* es la categoría de prehaces en Ω . Los objetos son funtores $\Omega^{\text{op}} \rightarrow \text{Set}$ y los morfismos vienen dados por las transformaciones naturales.

Nervio dendroidal

El funtor $\Omega \rightarrow \mathcal{O}per$ que envía un árbol T a la opéxada coloreada $\Omega(T)$ induce, por extensión de Kan, la siguiente adjunción

$$\tau_d: dSets \rightleftarrows \mathcal{O}per: N_d$$

El funtor N_d se llama *nervio dendroidal*. Para toda opéxada P , su nervio dendroidal es el conjunto dendroidal

$$N_d(P)_T = \mathcal{O}per(\Omega(T), P)$$

Este funtor es plenamente fiel y $N_d(\Omega(T)) = \Omega[T]$ para cada árbol T en Ω .

Producto tensorial

Producto tensorial de Boardman–Vogt

Definición

Sea P una opéada simétrica C -coloreada, y sea Q una opéada simétrica D -coloreada. El *producto tensorial de Boardman–Vogt* $P \otimes_{BV} Q$ es una opéada $(C \times D)$ -coloreada definida en terminos de generadores y relaciones de la siguiente manera. Para cada color $d \in D$ y cada operación $p \in P(c_1, \dots, c_n; c)$ existe un generador

$$p \otimes d \in P \otimes_{BV} Q((c_1, d), \dots, (c_n, d); (c, d))$$

De manera análoga, para cada color $c \in C$ y cada operación $q \in Q(d_1, \dots, d_m; d)$.

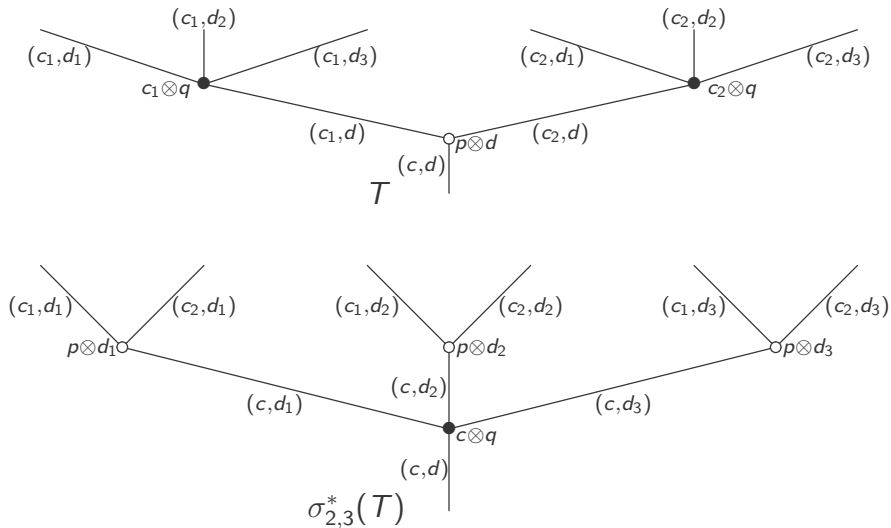
Producto tensorial de Boardman–Vogt

Estos generadores están sujetos a cinco relaciones:

- (i) $(p \otimes d) \circ ((p_1 \otimes d), \dots, (p_n \otimes d)) = (p \circ (p_1, \dots, p_n)) \otimes d.$
- (ii) $\sigma^*(p \otimes d) = (\sigma^*p) \otimes d$, para cada $\sigma \in \Sigma_n$.
- (iii) $(c \otimes q) \circ ((c \otimes q_1), \dots, (c \otimes q_m)) = c \otimes (q \circ (q_1, \dots, q_m)).$
- (iv) $\sigma^*(c \otimes q) = c \otimes (\sigma^*q)$, para cada $\sigma \in \Sigma_m$.
- (v) $\sigma_{n,m}^*((p \otimes d) \circ ((c_1 \otimes q), \dots, (c_n \otimes q))) = (c \otimes q) \circ ((p \otimes d_1), \dots, (p \otimes d_m)),$
donde $\sigma_{n,m} \in \Sigma_{nm}$ es una permutación.

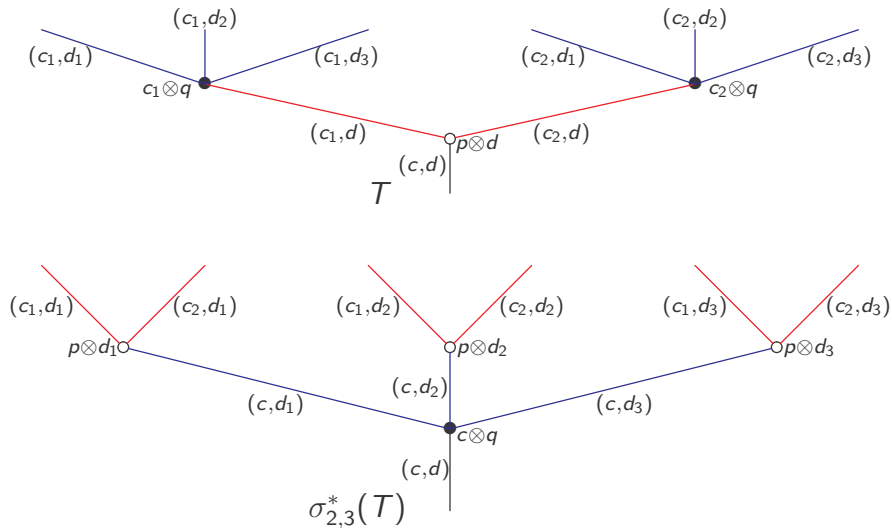
Relación de intercambio

Ejemplo



Relación de intercambio

Ejemplo



Producto tensorial de conjuntos dendroidales

Definición

Para todo par de árboles T y S en Ω , el *producto tensorial* de los representables $\Omega[T]$ y $\Omega[S]$ se define como

$$\Omega[T] \otimes \Omega[S] = N_d(\Omega(T) \otimes_{BV} \Omega(S))$$

Producto tensorial de conjuntos dendroidales

Definición

Sean X e Y dos conjuntos dendroidales y sea $X = \lim_{\rightarrow} \Omega[T]$ y $Y = \lim_{\rightarrow} \Omega[S]$ sus expresiones canónicas como colímites de representables. Entonces, definimos el *producto tensorial* $X \otimes Y$ como

$$X \otimes Y = \lim_{\rightarrow} \Omega[T] \otimes \lim_{\rightarrow} \Omega[S] = \lim_{\rightarrow} N_d(\Omega(T) \otimes_{BV} \Omega(S))$$

Producto tensorial de conjuntos dendroidales

Teorema

La categoría de conjuntos dendroidales admite una estructura monoidal, simétrica y cerrada. Esta estructura monoidal está únicamente determinada (salvo isomorfismo) por la propiedad de que existe un isomorfismo natural

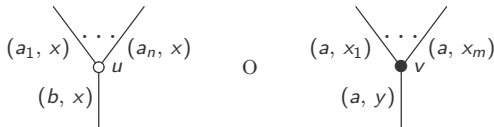
$$\Omega[T] \otimes \Omega[S] \cong N_d(\Omega(T) \otimes_{BV} \Omega(S))$$

para cada par T y S de objetos de Ω . La unidad del producto tensorial es el conjunto dendroidal representable $\Omega[\eta]$, donde η es el árbol unitario.

Conjunto de shuffles

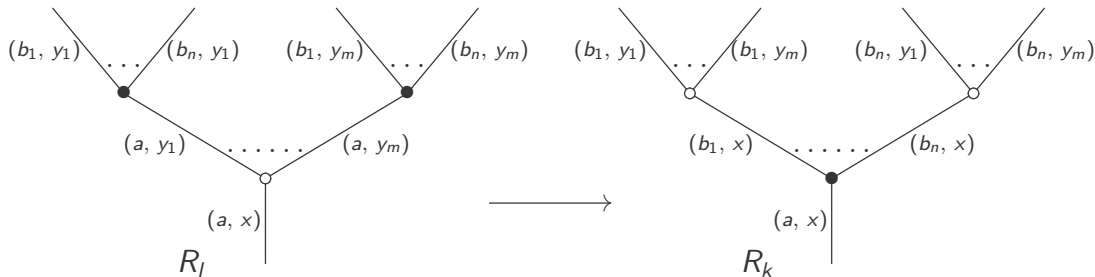
Definición

Sea S y T dos objetos de Ω . Un *shuffle* de S y T es un árbol R cuyo conjunto de aristas es un subconjunto de $E(S) \times E(T)$. La raíz de R es (a, x) , donde a es la raíz de S y x es la raíz de T , y sus hojas son todos los pares (l_S, l_T) , donde l_S es una hoja de S y l_T es una hoja de T . Los vértices son de la forma



Estructura de orden parcial

Existen los *shuffles intermediarios* R_k ($1 < k < N$) entre R_1 y R_N .



Si un shuffle R_k se obtiene de otro shuffle R_l mediante la norma de arriba, entonces $R_l \leq R_k$.

Producto tensorial de árboles

Lema

Para todo shuffle R_i de S y T tenemos un monomorfismo

$$m: \Omega[R_i] \hookrightarrow \Omega[S] \otimes \Omega[T]$$

Corolario

Para todo objeto T y S en Ω , tenemos que

$$\Omega[S] \otimes \Omega[T] = \bigcup_{i=1}^N m(R_i)$$

Número de shuffles

Proposición

El número de shuffles $sh(S, T)$ de dos árboles S y T satisface tres propiedades:

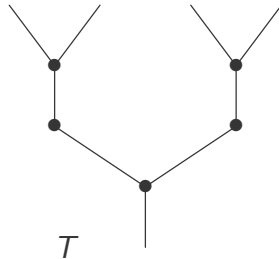
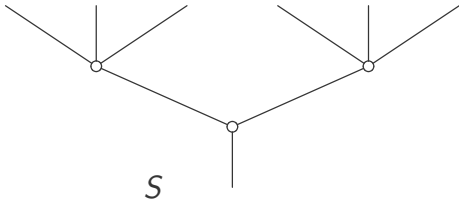
- (i) Simétrico: $sh(S, T) = sh(T, S)$*
- (ii) Unitario: Si T es un árbol unitario η , entonces $sh(S, \eta) = 1$*
- (iii) Inducción: Si $S = C_n[S_1, \dots, S_n]$ y $T = C_m[T_1, \dots, T_m]$, entonces*

$$sh(S, T) = \prod_{i=1}^n sh(S_i, T) + \prod_{j=1}^m sh(S, T_j)$$

Generar shuffles en Python

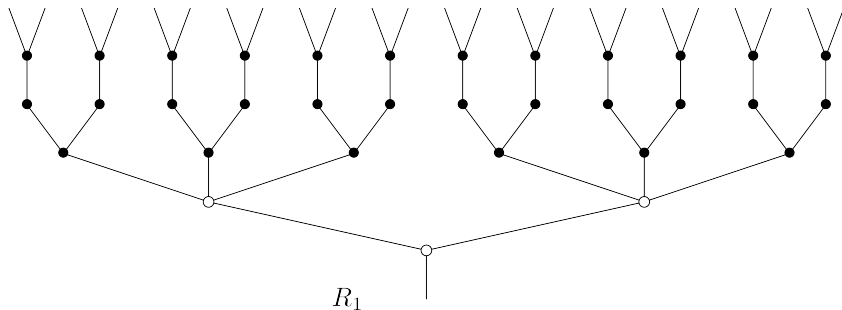
Ejemplo

Sean S y T los árboles



Generar shuffles en Python

El conjunto de shuffles resultante sería



Gracias por vuestra atención