

Cadena de clasificadores bayesianos en tiempo continuo

Santiago González- Carvajal Centenera

Tutores: Concha Bielza y Pedro Larrañaga

Máster Universitario en Inteligencia Artificial

Universidad Politécnica de Madrid

22 julio 2021

Contenidos

Introducción

Estado del arte

Diseño del modelo

- Cadena de clasificadores bayesianos en tiempo continuo

- Clasificadores bayesianos en tiempo continuo

- Cadenas de clasificadores

Implementación

Experimentos

- Primer experimento

- Segundo experimento

- Tercer experimento

Conclusiones y trabajo futuro

Contenidos

Introducción

Estado del arte

Diseño del modelo

Cadena de clasificadores bayesianos en tiempo continuo

Clasificadores bayesianos en tiempo continuo

Cadenas de clasificadores

Implementación

Experimentos

Primer experimento

Segundo experimento

Tercer experimento

Conclusiones y trabajo futuro

Introducción

- Problema de **clasificación multidimensional**.
- **Cadenas de clasificadores**.
- Clasificación de **series temporales**.
- Clasificación multidimensional de **series temporales multivariadas**.
- Clasificador bayesiano en tiempo continuo. [CTBNC](#).

Objetivos

- Desarrollar una **cadena de CTBNCs**. **Nuevo modelo** para clasificación multidimensional de series temporales multivariadas.
- Modelo de **relevancia binaria generalizada de CTBNCs**.
- Mostrar el sentido de la cadena de **CTBNCs** en tiempo continuo.
- Comprobar la importancia del **orden de las variables** en la cadena.

Introducción
○○○

Estado del arte
●○○

Diseño del modelo
○
○
○
○○○○○
○

Implementación
○○

Experimentos
○○○
○○○○○○○
○○
○○

Conclusiones y trabajo futuro
○○○○○

Contenidos

Introducción

Estado del arte

Diseño del modelo

Cadena de clasificadores bayesianos en tiempo continuo
Clasificadores bayesianos en tiempo continuo
Cadenas de clasificadores

Implementación

Experimentos

Primer experimento
Segundo experimento
Tercer experimento

Conclusiones y trabajo futuro

Estado del arte (I)

- Relevancia binaria (Boutell *et al.*, 2004), paso al conjunto potencia (Boutell *et al.*, 2004), **cadenas de clasificadores** (Read *et al.*, 2011), conjuntos de clasificadores en cadena (Read *et al.*, 2011), cadenas circulares (Rivas *et al.*, 2018), cadenas dinámicas (Kulesa y Mencía, 2018; Mencía, 2020), etc.
- **Clasificadores bayesianos multidimensionales** (van der Gaag y de Waal, 2006; Bielza *et al.*, 2011), **cadenas de clasificadores bayesianos** (Zaragoza *et al.*, 2011), etc.

Estado del arte (II)

- Redes bayesianas dinámicas (Dean y Kanazawa, 1989), modelos de redes dinámicas (Dagum *et al.*, 1992), modelos ocultos de Markov (Rabiner, 1989), clasificadores bayesianos temporales (Tucker *et al.*, 2006), etc.
- *Noisy-or* en tiempo continuo (Simmá *et al.*, 2012), cascadas de Poisson (Simmá, 2010), **CTBNCs** (Stella y Amer, 2012), etc.

Contenidos

Introducción

Estado del arte

Diseño del modelo

Cadena de clasificadores bayesianos en tiempo continuo

Clasificadores bayesianos en tiempo continuo

Cadenas de clasificadores

Implementación

Experimentos

Primer experimento

Segundo experimento

Tercer experimento

Conclusiones y trabajo futuro

Cadena de clasificadores bayesianos en tiempo continuo

- **Nuevo modelo** para clasificación multidimensional en tiempo continuo.
- Clasificadores bayesianos en tiempo continuo.
- Cadenas de clasificadores.

Redes bayesianas en tiempo continuo

- **Distribución inicial** especificada mediante una **red bayesiana**.
- Modelo de transición en tiempo continuo:
 - Un **grafo dirigido**, posiblemente cíclico.
 - Una **matriz de intensidad condicional**.

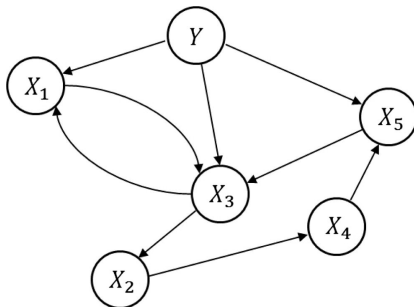
$$Q_{X_n}^{\text{pa}(X_n)} = \begin{bmatrix} -q_{x_1}^{\text{pa}(X_n)} & q_{x_1 x_2}^{\text{pa}(X_n)} & \dots & q_{x_1 x_{I_n}}^{\text{pa}(X_n)} \\ q_{x_2 x_1}^{\text{pa}(X_n)} & -q_{x_2}^{\text{pa}(X_n)} & \dots & q_{x_2 x_{I_n}}^{\text{pa}(X_n)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{x_{I_n} x_1}^{\text{pa}(X_n)} & q_{x_{I_n} x_2}^{\text{pa}(X_n)} & \dots & -q_{x_{I_n}}^{\text{pa}(X_n)} \end{bmatrix}$$

Redes bayesianas en tiempo continuo. Aprendizaje

- Aprendizaje de la **estructura** (Nodelman *et al.*, 2012c):
 - $score(\mathcal{G} : \mathcal{D}) = \ln P(\mathcal{D} | \mathcal{G}) + \ln P(\mathcal{G})$.
- Aprendizaje de los **parámetros** (Codecasa y Stella, 2014b):
 - $$\hat{q}_x^{\mathbf{pa}(X)} = \frac{\alpha_x^{\mathbf{pa}(X)} + M[x | \mathbf{pa}(X)]}{\tau_x^{\mathbf{pa}(X)} + T[x | \mathbf{pa}(X)]}$$
 - $$\hat{\theta}_{xx'}^{\mathbf{pa}(X)} = \frac{\alpha_{xx'}^{\mathbf{pa}(X)} + M[x, x' | \mathbf{pa}(X)]}{\alpha_x^{\mathbf{pa}(X)} + M[x | \mathbf{pa}(X)]}$$

CTBNC

- Red bayesiana en tiempo continuo con **nodo clase**.
- Grafo conectado.
- $Pa(Y) = \emptyset$, i.e. la variable clase Y está asociada con un nodo raíz.
- Y completamente determinada por $P(Y)$ y **no depende** de t .



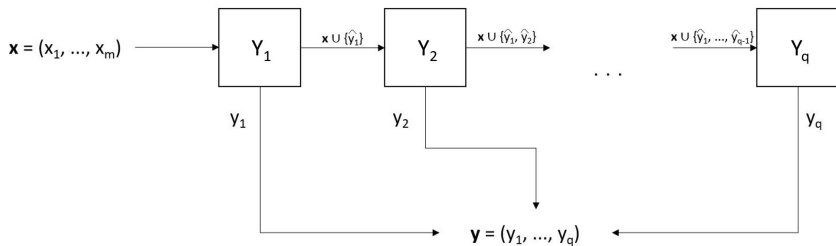
Clasificación

$$P(Y|\mathbf{x}^1, \dots, \mathbf{x}^J) \propto P(Y) \prod_{j=1}^J q_{\mathbf{x}_{[j]}^j \mathbf{x}_{[j]}^{j+1}}^{\text{pa}(X_{[j]})} \prod_{n=1}^N \exp(-q_{\mathbf{x}_n^j}^{\text{pa}(X_n)}(t_{j+1} - t_j)),$$

Modelos propuestos en la literatura

- Clasificador naive Bayes en tiempo continuo. **CTNB** (Stella y Amer, 2012).
- Clasificador bayesiano aumentado a árbol en tiempo continuo. **CTTANB** (Stella y Amer, 2012).
- Max- k clasificador bayesiano en tiempo continuo. **CTBNck** (Codecasa y Stella, 2014b).
- Max- k naive Bayes aumentado en tiempo continuo. **ACTNBk** (Codecasa y Stella, 2014b).

Cadenas de clasificadores



Introducción
○○○

Estado del arte
○○○

Diseño del modelo
○
○
○
○○○○○
○

Implementación
●○

Experimentos
○○○
○○○○○○○
○○
○○

Conclusiones y trabajo futuro
○○○○○

Contenidos

Introducción

Estado del arte

Diseño del modelo

Cadena de clasificadores bayesianos en tiempo continuo

Clasificadores bayesianos en tiempo continuo

Cadenas de clasificadores

Implementación

Experimentos

Primer experimento

Segundo experimento

Tercer experimento

Conclusiones y trabajo futuro

Implementación

- *Windows 10, Anaconda, Jupyter, Python 3.7.4 y Java 1.8.*
- **CTBNCToolkit** como aplicación Java.
- **Entorno virtual** con pandas, scikit-learn, etc.
- CTBNCToolkit → clasificadores base.
- Python → implementación de la cadena.

Contenidos

Introducción

Estado del arte

Diseño del modelo

Cadena de clasificadores bayesianos en tiempo continuo

Clasificadores bayesianos en tiempo continuo

Cadenas de clasificadores

Implementación

Experimentos

Primer experimento

Segundo experimento

Tercer experimento

Conclusiones y trabajo futuro

Conjuntos de datos (I)

- **Conjunto de datos real** → 3633 trayectorias. 6 variables clase. 15 predictoras. Variables predictoras → sensores. Variables clase → Estado de las máquinas. Multidimensional.
- CTBNCs → CTNB, CTBNck y ACTNBk.
- 75% *train* y 25% *test*. **Orden temporal**.
- Resto de parámetros predeterminados.

Conjuntos de datos (II)

- Conjuntos de datos **sintéticos** → 2000 trayectorias. 10 variables clase. 10 predictoras.
 - **Conjunto 1**: dependencia entre variables clase: **alta**. dependencia entre variables predictoras: **alta**. **Multietiqueta**.
 - **Conjunto 2**: dependencia entre variables clase: **independientes**. dependencia entre variables predictoras: **alta**. **Multietiqueta**.
 - **Conjunto 3**: dependencia entre variables clase: **alta**. dependencia entre variables predictoras: **alta**. **Multidimensional**.
 - **Conjunto 4**: dependencia entre variables clase: **alta**. dependencia entre variables predictoras: **baja**. **Multietiqueta**.
 - **Conjunto 5**: dependencia entre variables clase: **independientes**. dependencia entre variables predictoras: **baja**. **Multietiqueta**.

Descripción del primer experimento

- Comparación con la **relevancia binaria**.
- Capturar la **relación entre variables clase**.

Resultados del primer experimento. Datos reales

Modelo	Precisión sobre clases						Precisión global
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	
CTNB-CC	0.58	0.58	0.62	0.71	0.75	0.75	0.36
CTNB-BR	0.58	0.58	0.62	0.71	0.75	0.75	0.36
CTBNC2-CC	0.58	0.58	0.62	0.71	0.75	0.75	0.36
CTBNC2-BR	0.58	0.58	0.62	0.71	0.75	0.75	0.36

Resultados del primer experimento. Datos sintéticos (I)

Modelo	Precisión sobre clases										Precisión global
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9	Y_{10}	
CTNB-CC	0.86	0.84	0.72	0.71	0.60	0.55	0.50	0.51	0.52	0.53	0.012
CTNB-BR	0.86	0.84	0.72	0.71	0.60	0.55	0.50	0.51	0.52	0.53	0.012
CTBNC2-CC	0.89	0.82	0.88	0.79	0.55	0.58	0.61	0.50	0.64	0.53	0.016
CTBNC2-BR	0.89	0.88	0.69	0.71	0.60	0.58	0.61	0.50	0.64	0.53	0.012

Resultados del primer experimento. Datos sintéticos (II)

Modelo	Precisión sobre clases										Precisión global
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9	Y_{10}	
CTNB-CC	0.80	0.71	0.65	0.50	0.65	0.56	0.52	0.50	0.49	0.52	0.002
CTNB-BR	0.80	0.71	0.65	0.50	0.65	0.56	0.52	0.50	0.49	0.52	0.002
CTBNC2-CC	0.83	0.82	0.73	0.56	0.90	0.81	0.67	0.68	0.55	0.64	0.024
CTBNC2-BR	0.89	0.88	0.69	0.71	0.60	0.58	0.61	0.50	0.64	0.53	0.024

Resultados del primer experimento. Datos sintéticos (III)

Modelo	Precisión sobre clases										Precisión global
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9	Y_{10}	
CTNB-CC	0.72	0.47	0.43	0.36	0.34	0.49	0.52	0.51	0.49	0.50	0.004
CTNB-BR	0.72	0.47	0.42	0.36	0.35	0.49	0.52	0.51	0.49	0.50	0.004
CTBNC2-CC	0.76	0.64	0.54	0.42	0.36	0.52	0.50	0.53	0.50	0.53	0.004
CTBNC2-BR	0.76	0.68	0.54	0.44	0.36	0.52	0.50	0.53	0.50	0.53	0.002

Introducción
○○○

Estado del arte
○○○

Diseño del modelo
○
○
○○○○○
○

Implementación
○○

Experimentos
○○○
○○○○○●○
○○
○○

Conclusiones y trabajo futuro
○○○○○

Resultados del primer experimento. Datos sintéticos (IV)

Modelo	Precisión sobre clases										Precisión global
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀	
CTNB-CC	0.87	0.67	0.73	0.64	0.61	0.63	0.75	0.77	0.59	0.61	0.022
CTNB-BR	0.87	0.67	0.73	0.63	0.61	0.63	0.75	0.77	0.60	0.61	0.022
CTBNC2-CC	0.89	0.80	0.84	0.82	0.75	0.74	0.89	0.92	0.80	0.85	0.123
CTBNC2-BR	0.89	0.78	0.84	0.82	0.75	0.74	0.89	0.92	0.70	0.85	0.012

Resultados del primer experimento. Datos sintéticos (V)

Modelo	Precisión sobre clases										Precisión global
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈	Y ₉	Y ₁₀	
CTNB-CC	0.81	0.69	0.66	0.74	0.69	0.65	0.74	0.77	0.65	0.74	0.022
CTNB-BR	0.81	0.69	0.66	0.74	0.69	0.65	0.74	0.77	0.64	0.74	0.022
CTBNC2-CC	0.84	0.82	0.83	0.91	0.84	0.79	0.86	0.87	0.76	0.87	0.19
CTBNC2-BR	0.84	0.82	0.83	0.91	0.84	0.79	0.86	0.87	0.76	0.87	0.19

Descripción del segundo experimento

- **Aumentar precisión sobre clases individuales.**
- Clasificadores **perfectos**.
- Sobre **datos reales**.

Resultados del segundo experimento

Modelo	Precisión sobre clases						Precisión global
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	
CTNB-CC	0.58	0.998	0.75	0.80	0.83	0.994	0.41
CTNB-BR	0.58	0.58	0.62	0.71	0.75	0.75	0.36
CTBNC2-CC	0.58	0.998	0.62	0.80	0.75	0.75	0.37
CTBNC2-BR	0.58	0.58	0.62	0.71	0.75	0.75	0.36

Descripción del tercer experimento

- **Propiedades de cadenas de clasificadores** en tiempo estático.
- Alterar el **orden** de las variables.
- Capacidad de **capturar las relaciones entre variables clase**.
- **Orden inverso** de las variables.

Resultados del tercer experimento

Modelo	Precisión sobre clases						Precisión global
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	
CTNB-CC	0.58	0.998	0.75	0.80	0.83	0.994	0.41
CTNB-BR	0.58	0.58	0.62	0.71	0.75	0.75	0.36
CTBNC2-CC	0.58	0.998	0.62	0.80	0.75	0.75	0.37
CTBNC2-BR	0.58	0.58	0.62	0.71	0.75	0.75	0.36

Modelo	Precisión sobre clases						Precisión global
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	
CTNB-CC	0.998	0.74	0.74	0.86	0.95	0.75	0.43
CTNB-BR	0.58	0.58	0.62	0.71	0.75	0.75	0.36
CTBNC2-CC	0.998	0.58	0.62	0.71	0.75	0.75	0.36
CTBNC2-BR	0.58	0.58	0.62	0.71	0.75	0.75	0.36

Contenidos

Introducción

Estado del arte

Diseño del modelo

Cadena de clasificadores bayesianos en tiempo continuo

Clasificadores bayesianos en tiempo continuo

Cadenas de clasificadores

Implementación

Experimentos

Primer experimento

Segundo experimento

Tercer experimento

Conclusiones y trabajo futuro

Conclusiones

- **Nuevo modelo** presentado.
- **Gran volumen de artículos** estudiados.
- **Ausencia de conjuntos de datos** de dominio público.
- Estudio del **funcionamiento del CTBNCToolkit**.
- A pesar de los contratiempos, consecución de los **objetivos**.

Trabajo futuro

- Realización de experimentos sobre **otros conjuntos de datos reales**.
- **Otras implementaciones** del CTBNC. Desarrollar una nueva implementación en **Python**.
- Utilizar un equipo con **más capacidad de cómputo** para variar los parámetros del CTBNCToolkit.
- **Cadenas circulares, dinámicas, ensembles**, etc.
- Aplicar el trabajo de Sucar *et al.* (2014) a CTBNCs.

Agradecimientos

- Agradecer a **Carlos Villa Blanco** por la generación de los datos sintéticos.
- Conjunto de datos reales de la empresa del sector energético.

Introducción
ooo

Estado del arte
ooo

Diseño del modelo
o
o
o
ooooo
o

Implementación
oo

Experimentos
ooo
oooooooo
oo
oo
oo

Conclusiones y trabajo futuro
oooo●

¡Muchas gracias
por vuestra atención!