Cây quyết định
(Decision tree)

Trường Đại học Công nghệ Thông tin, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
Tài liệu nội bộ

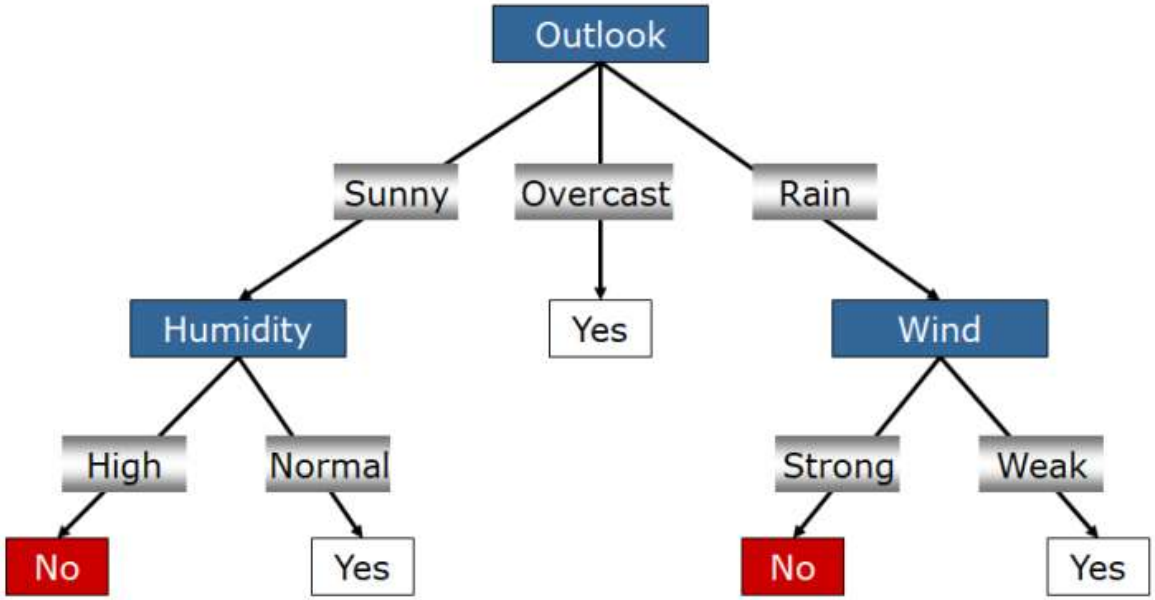
Tháng 2 năm 2020

David là quản lý của một câu lạc bộ đánh golf. Anh nhận thấy: Có ngày đông người muốn chơi golf nhưng số nhân viên câu lạc bộ lại không đủ phục vụ, Có hôm lại quá ít (hoặc không có) người đến chơi dẫn đến câu lạc bộ lại thừa nhân viên phục vụ, và việc này rõ ràng bị ảnh hưởng lớn từ yếu tố thời tiết.
Do vậy, David muốn dựa vào dữ liệu thời tiết để tối ưu hóa số nhân viên phục vụ mỗi ngày. Trong hai tuần, anh ta thu thập thông tin về: Trời (outlook) (nắng (sunny), nhiều mây (overcast) hoặc mưa (raining)); nhiệt độ (temperature) bằng độ F; độ ẩm (humidity); có gió mạnh (wind) hay không; và số người chơi trong ngày (yes=đông, no=ít). David thu được một bộ dữ liệu gồm 14 dòng và 5 cột.

Day	Outlook	Temp	Humidity	Wind	PlayTennis
1	Sunny	Hot	High	Weak	No
2	Sunny	Hot	High	Strong	No
3	Overcast	Hot	High	Weak	Yes
4	Rain	Mild	High	Weak	Yes
5	Rain	Cool	Normal	Weak	Yes
6	Rain	Cool	Normal	Strong	No
7	Overcast	Cool	Normal	Strong	Yes
8	Sunny	Mild	High	Weak	No
9	Sunny	Cool	Normal	Weak	Yes
10	Rain	Mild	Normal	Weak	Yes
11	Sunny	Mild	Normal	Strong	Yes
12	Overcast	Mild	High	Strong	Yes
13	Overcast	Hot	Normal	Weak	Yes
14	Rain	Mild	High	Strong	No

Hình 1: Dữ liệu của David

Hình ảnh cây quyết định

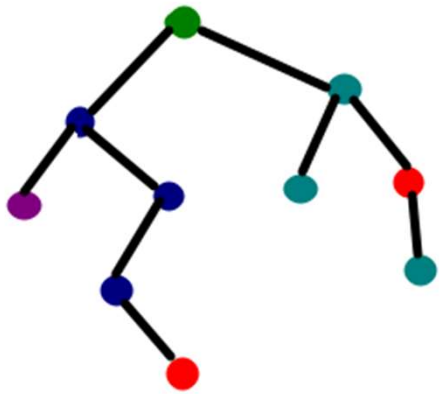


Hình 2: Sơ đồ phân tích của anh David

KHÁI NIỆM ”GỐC”, ”NÚT”, ”NHÁNH”, ”LÁ”, ”ĐỘ SÂU”, THẾ NÀO LÀ CÂY QĐ TỐT?
RA QĐ THẾ NÀO? LUẬT

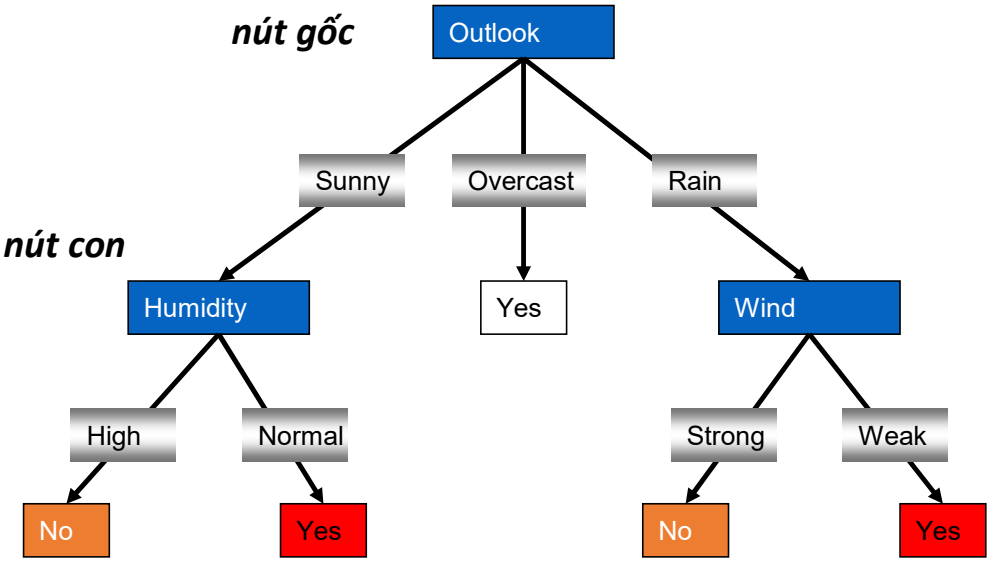
Cây quyết định

- Là mô hình máy học dự đoán câu trả lời bằng việc ra quyết định dựa trên các luật.
  - Các luật ở đây sẽ được biểu diễn bằng dạng cây.
- Các thành phần của 1 cây quyết định:
  - Nút không phải nút lá (non-leaf node).
  - Nút con (child node).
  - Nút gốc (root node).
  - Nút lá (leaf node / terminal node).
  - Đường đi (path)



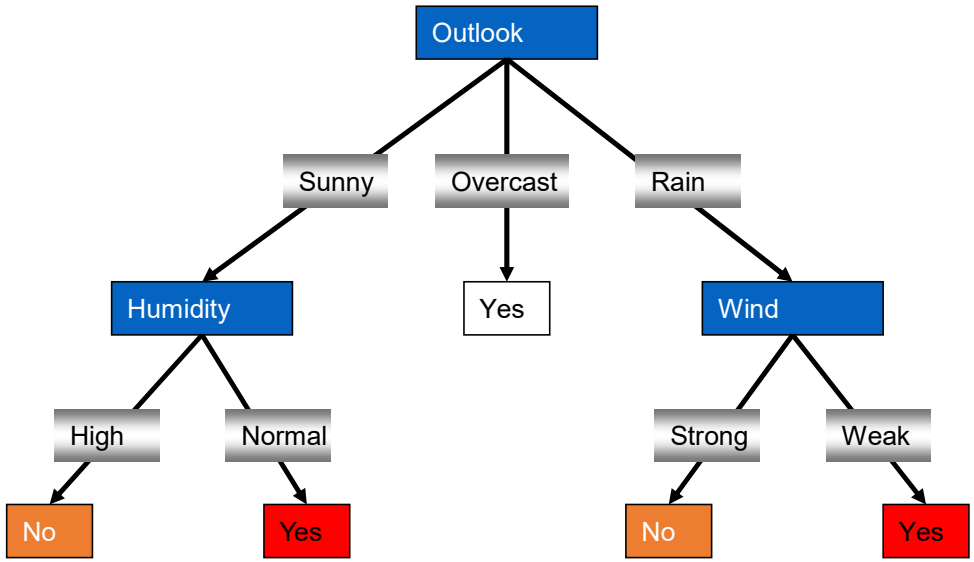
Biểu diễn cây quyết định

Day	Outlook	Temp.	Humidity	Wind	Play?
1	Sunny	Hot	High	Weak	No
2	Sunny	Hot	High	Strong	No
3	Overcast	Hot	High	Weak	Yes
4	Rain	Mild	High	Weak	Yes
5	Rain	Cool	Normal	Weak	No
6	Rain	Cool	Normal	Strong	Yes
7	Overcast	Cool	Normal	Weak	Yes
8	Sunny	Mild	High	Weak	Yes
9	Sunny	Cold	Normal	Weak	Yes
10	Rain	Mild	Normal	Strong	Yes
11	Sunny	Mild	Normal	Strong	Yes
12	Overcast	Mild	High	Strong	Yes
13	Overcast	Hot	Normal	Weak	Yes
14	Rain	Mild	High	Strong	No



(Outlook=Sunny ∧ Humidity=Normal)
∨ Outlook=Overcast
∨ (Outlook=Rain ∧ Wind=Weak) → YES

Biến đổi cây quyết định thành luật



$\wedge$ = AND = và
$\vee$ = OR = hoặc

R_1: If (Outlook=Sunny) $\wedge$ (Humidity=High) ➔ Play=No

R_2: If (Outlook=Sunny) $\wedge$ (Humidity=Normal) ➔ Play=Yes

R_3: If (Outlook=Overcast) ➔ Play=Yes

R_4: If (Outlook=Rain) $\wedge$ (Wind=Strong) ➔ Play=No

R_5: If (Outlook=Rain) $\wedge$ (Wind=Weak) ➔ Play=Yes

Xây dựng cây quyết định

1. Cây được thiết lập từ trên xuống dưới.
2. Rời rạc hóa các thuộc tính dạng phi số.
3. Các mẫu huấn luyện nằm ở gốc của cây.
4. **Chọn một thuộc tính để phân chia thành các nhánh.**
5. Tiếp tục lặp lại việc xây dựng cây quyết định cho các nhánh.
6. Điều kiện dừng:
   - Tất cả các mẫu rơi vào một nút thuộc về cùng một lớp (nút lá)
   - Không còn thuộc tính nào có thể dùng để phân chia mẫu nữa
   - Không còn lại mẫu nào tại nút

Lựa chọn thuộc tính

- Thuộc tính được chọn là thuộc tính **có lợi nhất** cho quá trình phân chia các giá trị về các lớp.
  - Mục tiêu: Cây quyết định **càng đơn giản càng tốt**.
- Tính toán độ lợi thông tin như thế nào?
- Có 2 độ đo thường dùng
  - Độ lợi thông tin (Information gain).
  - Chỉ số Gini (Gini index).

Thuật toán xây dựng Decision Tree

- Độ đo Gini:
  - Thuật toán CART (Classification And Regression Tree, Breiman et al., 1984)
- Độ đo Information Gain (IG):
  - Thuật toán ID3 (Interative Dichotomiser, R. Quilan, 1983).

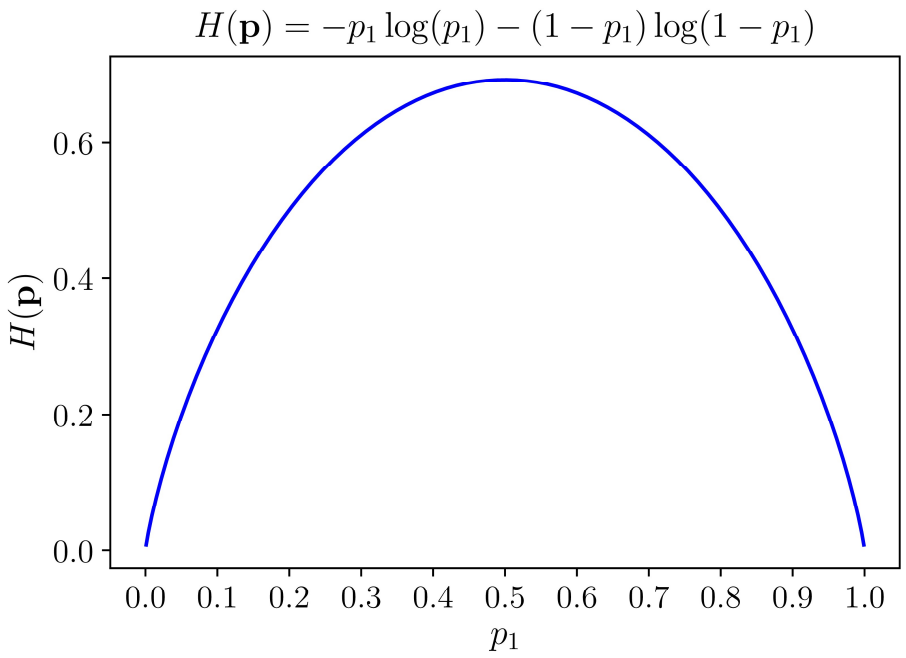
Độ lợi thông tin

- Độ lợi thông tin được xây dựng dựa trên khái niệm về entropy thông tin.
- Khái niệm **entropy** chỉ mức độ hỗn loạn của thông tin mang trong dữ liệu.
- Nếu một sự kiện **ngẫu nhiên rời rạc** x, có thể nhận các giá trị là 1..n, thì entropy của nó là:

$$H(\mathrm{x}) = -\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \mathrm{p(i)} * \log_2(\mathrm{p(i)})$$

- Trong đó: p(i) là xác suất xảy ra giá trị i.

Entropy thông tin



- Với p = 0 hoặc p = 1 thì H = 1 ➔ thông tin ít nhiễu loạn.
- Với p = 0.5 thì H = 0 ➔ thông tin nhiễu loạn.

➔ Khi cần ra quyết định, thì chọn thông tin nhiễu loạn hay ít nhiễu loạn ??

Hàm mất mát cho ID3

- Tính entropy cho một node S (gồm C class):

$$H(S) = -\sum_{i=1}^{C} \frac{N_c}{N} \log_2\left(\frac{N_c}{N}\right)$$

- Tính entropy thuộc tính x của node S. Mỗi dữ liệu trong node S được phân ra thành K node con m_1, m_2, ..., m_k theo thuộc tính x.

$$H(x, S) = \sum_{k=1}^{K} H(S_k) \frac{m_K}{N}$$

- Độ lợi thông tin được định nghĩa như sau: **G(x,s) = H(S) – H(x,S)**
- Thuộc tính x được chọn khi G(x,S) lớn nhất (độ lợi thông tin lớn nhất).

$$\boldsymbol{x = argmax_x G(x, S) = argmin_x H(x, S)}$$

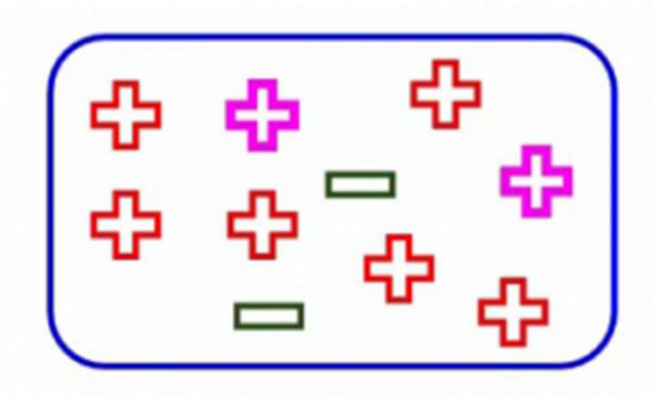
Độ đo Gini

- Độ đo Gini thể hiện mức độ phân loại sai khi chọn ngẫu nhiên 1 phần tử từ tập dữ liệu.
- Công thức tính độ đo Gini:

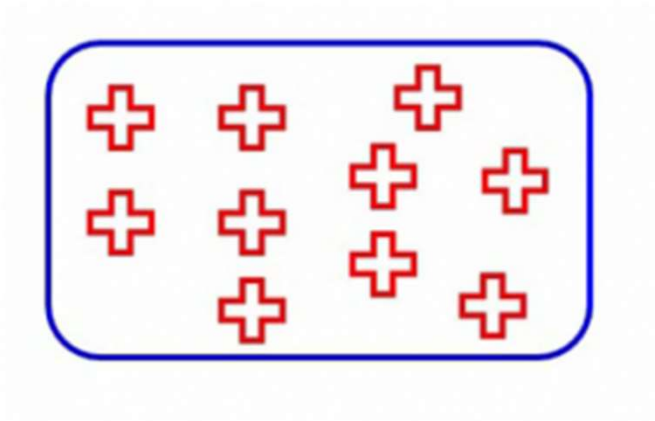
$$G(\mathrm{x}) = 1 - \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \mathrm{p}(\mathrm{i})^2$$

p(i) xác suất một phần tử ngẫu nhiên x thuộc lớp i.

Gini Impurity

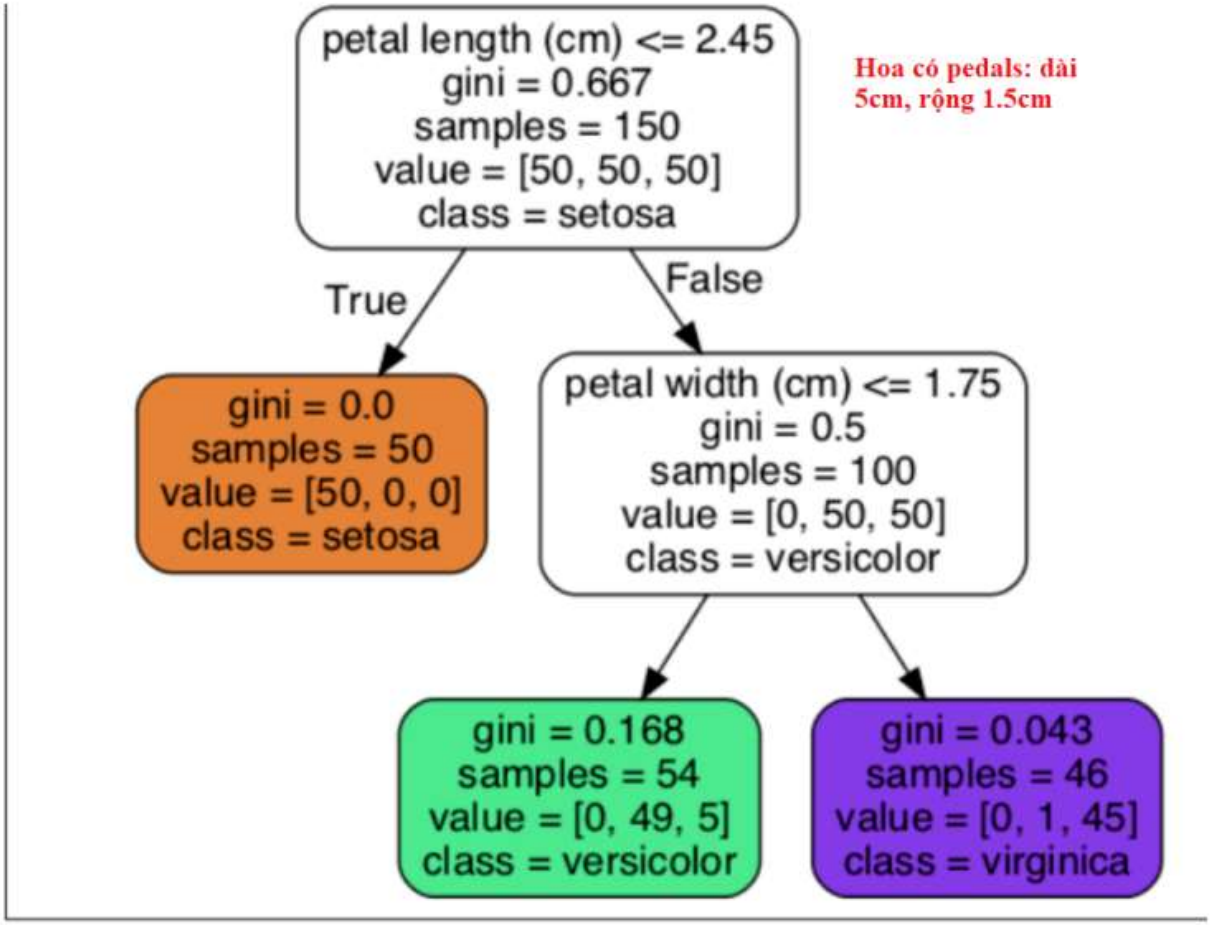


Nếu lấy ngẫu nhiên 1 dữ liệu từ tập dữ liệu, xác suất lấy đúng dữ liêu thuộc lớp (+) là 0.8 ➔ có khoảng 20% lấy nhầm sang lớp (-) ➔ Impurity



Nếu lấy ngẫu nhiên 1 dữ liệu từ tập dữ liệu, xác suất lấy đúng dữ liêu thuộc lớp (+) là 1.
➔ Pured

ƯỚC LƯỢNG XÁC SUẤT MỘT MẪU THUỘC PHÂN LỚP



Hoa có pedals: dài 5cm, rộng 1.5cm

Figure 6-1. Iris Decision Tree

Hàm mất mát cho CART

- Ý tưởng: thuật toán chia dữ liệu ban đầu ra làm 2 phần dựa theo thuộc tính k và một "ngưỡng" t (threshold) tương ứng. Sau đó, thuật toán lần lượt đi tìm 2 giá trị **t và k** sao cho tất cả dữ liệu đều được phân về đúng theo các lớp (pured).
- Hàm mất mát của CART được biểu diễn như sau:

$$L(k,t) = \frac{m_{left}}{m} G_{left} + \frac{m_{right}}{m} G_{right}$$

Trong đó:
- G_{left} và G_{right}: thể hiện tính Impurity trên mỗi tập
- m: số lượng dữ liệu. m_{left} và m_{right} là số lượng dữ liệu ở mỗi tập

Một số nhận xét

- Hai thuật toán như nhau trong đa số trường hợp.
- Gini thường chạy nhanh hơn nên được mặc định trong sklearn.
- Entropy thường cho cây cân bằng hơn.

Cây quyết định không đòi hỏi nhiều việc xử lý (chuẩn bị) dữ liệu, không cần co dãn/ chuẩn hóa dữ liệu.

VD: Xây dựng cây quyết định

day	outlook	temperature	humidity	wind	play
1	sunny	hot	high	weak	no
2	sunny	hot	high	strong	no
3	overcast	hot	high	weak	yes
4	rainy	mild	high	weak	yes
5	rainy	cool	normal	weak	yes
6	rainy	cool	normal	strong	no
7	overcast	cool	normal	strong	yes
8	sunny	mild	high	weak	no
9	sunny	cool	normal	weak	yes
10	rainy	mild	normal	weak	yes
11	sunny	mild	normal	strong	yes
12	overcast	mild	high	strong	yes
13	overcast	hot	normal	weak	yes
14	rainy	mild	high	strong	no

Xây dựng cây quyết định để tìm ra quy luật: với điều kiện thời tiết nào thì người chơi sẽ chơi golf ?

Xây dựng theo giải thuật ID3 và độ đo Information gain (IG)

Tính toán cho thuộc tính Play

day	outlook	temperature	humidity	wind	play
1	sunny	hot	high	weak	no
2	sunny	hot	high	strong	no
3	overcast	hot	high	weak	yes
4	rainy	mild	high	weak	yes
5	rainy	cool	normal	weak	yes
6	rainy	cool	normal	strong	no
7	overcast	cool	normal	strong	yes
8	sunny	mild	high	weak	no
9	sunny	cool	normal	weak	yes
10	rainy	mild	normal	weak	yes
11	sunny	mild	normal	strong	yes
12	overcast	mild	high	strong	yes
13	overcast	hot	normal	weak	yes
14	rainy	mild	high	strong	no

- Tổng số lượng dữ liệu: S = 14
- Số thuộc tính thuộc nhãn Play = yes: 9
- Số thuộc tính thuộc nhãn Play = no: 5

➔$H(S) = -\left(\frac{9}{14}\log_2\left(\frac{9}{14}\right) + \frac{5}{14}\log_2\left(\frac{5}{14}\right)\right)$

$= 0.94$

Tính toán cho thuộc tính Outlook

day	outlook	temperature	humidity	wind	play
1	sunny	hot	high	weak	no
2	sunny	hot	high	strong	no
3	overcast	hot	high	weak	yes
4	rainy	mild	high	weak	yes
5	rainy	cool	normal	weak	yes
6	rainy	cool	normal	strong	no
7	overcast	cool	normal	strong	yes
8	sunny	mild	high	weak	no
9	sunny	cool	normal	weak	yes
10	rainy	mild	normal	weak	yes
11	sunny	mild	normal	strong	yes
12	overcast	mild	high	strong	yes
13	overcast	hot	normal	weak	yes
14	rainy	mild	high	strong	no

	Yes	No	Total
Sunny	3	2	5
Overcast	4	0	4
Rainy	3	2	5

$$\mathrm{H(S, outlook)} = -\frac{5}{14}\left(\frac{3}{5}\log_2\left(\frac{3}{5}\right)+\frac{2}{5}\log_2\left(\frac{2}{5}\right)\right)-\frac{4}{14}\left(\frac{4}{4}\log_2\left(\frac{4}{4}\right)\right)$$
$$-\frac{5}{14}\left(\frac{3}{5}\log_2\left(\frac{3}{5}\right)+\frac{2}{5}\log_2\left(\frac{2}{5}\right)\right) = 0.69$$

$$G(S, outlook) = 0.94 - 0.69 = 0.25$$

Tính toán cho thuộc tính Temp

day	outlook	temperature	humidity	wind	play
1	sunny	hot	high	weak	no
2	sunny	hot	high	strong	no
3	overcast	hot	high	weak	yes
4	rainy	mild	high	weak	yes
5	rainy	cool	normal	weak	yes
6	rainy	cool	normal	strong	no
7	overcast	cool	normal	strong	yes
8	sunny	mild	high	weak	no
9	sunny	cool	normal	weak	yes
10	rainy	mild	normal	weak	yes
11	sunny	mild	normal	strong	yes
12	overcast	mild	high	strong	yes
13	overcast	hot	normal	weak	yes
14	rainy	mild	high	strong	no

	Yes	No	Total
Hot	2	2	4
Mild	4	2	6
Cool	3	1	4

$$\mathrm{H}(\mathrm{S}, temp) = -\frac{4}{14}\left(\frac{2}{4}\log_2\left(\frac{2}{4}\right) + \frac{2}{4}\log_2\left(\frac{2}{4}\right)\right) - \frac{6}{14}\left(\frac{4}{6}\log_2\left(\frac{4}{6}\right) + \frac{2}{6}\log_2\left(\frac{2}{6}\right)\right) - \frac{4}{14}\left(\frac{3}{4}\log_2\left(\frac{3}{4}\right) + \frac{1}{4}\log_2\left(\frac{1}{4}\right)\right)$$

= 0.91

$$G(S, Temp) = 0.94 - 0.91 = 0.03$$

Tính toán cho thuộc tính Humidity

day	outlook	temperature	humidity	wind	play
1	sunny	hot	high	weak	no
2	sunny	hot	high	strong	no
3	overcast	hot	high	weak	yes
4	rainy	mild	high	weak	yes
5	rainy	cool	normal	weak	yes
6	rainy	cool	normal	strong	no
7	overcast	cool	normal	strong	yes
8	sunny	mild	high	weak	no
9	sunny	cool	normal	weak	yes
10	rainy	mild	normal	weak	yes
11	sunny	mild	normal	strong	yes
12	overcast	mild	high	strong	yes
13	overcast	hot	normal	weak	yes
14	rainy	mild	high	strong	no

	Yes	No	Total
High	3	4	7
Normal	6	1	7

$$\mathrm{H}(\mathrm{S}, humidity) = -\frac{7}{14}\left(\frac{3}{7}\log_2\left(\frac{3}{7}\right) + \frac{4}{7}\log_2\left(\frac{4}{7}\right)\right) - \frac{7}{14}\left(\frac{6}{7}\log_2\left(\frac{6}{7}\right) + \frac{1}{7}\log_2\left(\frac{1}{7}\right)\right)$$

= 0.78

$$G(S, humidity) = 0.94 - 0.78 = 0.16$$

Tính toán cho thuộc tính Wind

day	outlook	temperature	humidity	wind	play
1	sunny	hot	high	weak	no
2	sunny	hot	high	strong	no
3	overcast	hot	high	weak	yes
4	rainy	mild	high	weak	yes
5	rainy	cool	normal	weak	yes
6	rainy	cool	normal	strong	no
7	overcast	cool	normal	strong	yes
8	sunny	mild	high	weak	no
9	sunny	cool	normal	weak	yes
10	rainy	mild	normal	weak	yes
11	sunny	mild	normal	strong	yes
12	overcast	mild	high	strong	yes
13	overcast	hot	normal	weak	yes
14	rainy	mild	high	strong	no

	Yes	No	Total
Weak	6	2	8
Strong	3	3	6

$$\mathrm{H}(\mathrm{S}, Wind) = -\frac{8}{14}\left(\frac{6}{8}\log_2\left(\frac{6}{8}\right) + \frac{2}{8}\log_2\left(\frac{2}{8}\right)\right) - \frac{6}{14}\left(\frac{3}{6}\log_2\left(\frac{3}{6}\right) + \frac{3}{6}\log_2\left(\frac{3}{6}\right)\right)$$

= 0.89

$$G(S, Wind) = 0.94 - 0.89 = 0.05$$

Tổng hợp

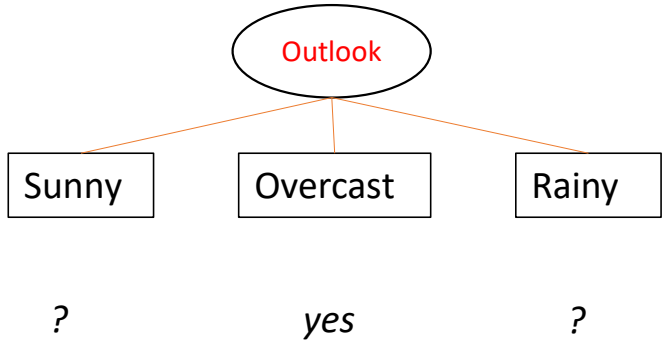
day	outlook	temperature	humidity	wind	play
1	sunny	hot	high	weak	no
2	sunny	hot	high	strong	no
3	overcast	hot	high	weak	yes
4	rainy	mild	high	weak	yes
5	rainy	cool	normal	weak	yes
6	rainy	cool	normal	strong	no
7	overcast	cool	normal	strong	yes
8	sunny	mild	high	weak	no
9	sunny	cool	normal	weak	yes
10	rainy	mild	normal	weak	yes
11	sunny	mild	normal	strong	yes
12	overcast	mild	high	strong	yes
13	overcast	hot	normal	weak	yes
14	rainy	mild	high	strong	no

- Outlook: G(S, Outlook) = 0.25
- Temp: G(S, Temp) = 0.03
- Humidity: G(S, humidity) = 0.16
- Wind: G(S, Wind) = 0.05

➔ Chọn Outlook làm gốc.

Tổng hợp

day	outlook	temperature	humidity	wind	play
1	sunny	hot	high	weak	no
2	sunny	hot	high	strong	no
3	overcast	hot	high	weak	yes
4	rainy	mild	high	weak	yes
5	rainy	cool	normal	weak	yes
6	rainy	cool	normal	strong	no
7	overcast	cool	normal	strong	yes
8	sunny	mild	high	weak	no
9	sunny	cool	normal	weak	yes
10	rainy	mild	normal	weak	yes
11	sunny	mild	normal	strong	yes
12	overcast	mild	high	strong	yes
13	overcast	hot	normal	weak	yes
14	rainy	mild	high	strong	no



Xét nhánh Outlook = Sunny

day	outlook	temperature	humidity	wind	play
1	sunny	hot	high	weak	no
2	sunny	hot	high	strong	no
~~3~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~high~~	~~weak~~	~~yes~~
~~4~~	~~rainy~~	~~mild~~	~~high~~	~~weak~~	~~yes~~
~~5~~	~~rainy~~	~~cool~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
~~6~~	~~rainy~~	~~cool~~	~~normal~~	~~strong~~	~~no~~
~~7~~	~~overcast~~	~~cool~~	~~normal~~	~~strong~~	~~yes~~
8	sunny	mild	high	weak	no
9	sunny	cool	normal	weak	yes
~~10~~	~~rainy~~	~~mild~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
11	sunny	mild	normal	strong	yes
~~12~~	~~overcast~~	~~mild~~	~~high~~	~~strong~~	~~yes~~
~~13~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
~~14~~	~~rainy~~	~~mild~~	~~high~~	~~strong~~	~~no~~

- Tổng số lượng dữ liệu: S = 5
- Số thuộc tính thuộc nhãn Play = yes: 3
- Số thuộc tính thuộc nhãn Play = no: 2

➔$H(S) = -\left(\frac{3}{5}\log_2\left(\frac{3}{5}\right) + \frac{2}{5}\log_2\left(\frac{2}{5}\right)\right)$

$= 0.97$

Tính toán cho thuộc tính Temp

day	outlook	temperature	humidity	wind	play
1	sunny	hot	high	weak	no
2	sunny	hot	high	strong	no
~~3~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~high~~	~~weak~~	~~yes~~
~~4~~	~~rainy~~	~~mild~~	~~high~~	~~weak~~	~~yes~~
~~5~~	~~rainy~~	~~cool~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
~~6~~	~~rainy~~	~~cool~~	~~normal~~	~~strong~~	~~no~~
~~7~~	~~overcast~~	~~cool~~	~~normal~~	~~strong~~	~~yes~~
8	sunny	mild	high	weak	no
9	sunny	cool	normal	weak	yes
~~10~~	~~rainy~~	~~mild~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
11	sunny	mild	normal	strong	yes
~~12~~	~~overcast~~	~~mild~~	~~high~~	~~strong~~	~~yes~~
~~13~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
~~14~~	~~rainy~~	~~mild~~	~~high~~	~~strong~~	~~no~~

	Yes	No	Total
Hot	0	2	2
Mild	1	1	2
Cool	1	0	1

$$\mathrm{H}(\mathrm{S}, temp) = -\frac{2}{5}\left(\frac{2}{2}\log_2\left(\frac{2}{2}\right)\right) - \frac{2}{5}\left(\frac{1}{2}\log_2\left(\frac{1}{2}\right) + \frac{1}{2}\log_2\left(\frac{1}{2}\right)\right) - \frac{1}{5}\left(\frac{1}{1}\log_2\left(\frac{1}{1}\right)\right)$$

= 0.4

$$G(S, Temp) = 0.97 - 0.4 = 0.57$$

Tính toán cho thuộc tính Humidity

day	outlook	temperature	humidity	wind	play
1	sunny	hot	high	weak	no
2	sunny	hot	high	strong	no
~~3~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~high~~	~~weak~~	~~yes~~
~~4~~	~~rainy~~	~~mild~~	~~high~~	~~weak~~	~~yes~~
~~5~~	~~rainy~~	~~cool~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
~~6~~	~~rainy~~	~~cool~~	~~normal~~	~~strong~~	~~no~~
~~7~~	~~overcast~~	~~cool~~	~~normal~~	~~strong~~	~~yes~~
8	sunny	mild	high	weak	no
9	sunny	cool	normal	weak	yes
~~10~~	~~rainy~~	~~mild~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
11	sunny	mild	normal	strong	yes
~~12~~	~~overcast~~	~~mild~~	~~high~~	~~strong~~	~~yes~~
~~13~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
~~14~~	~~rainy~~	~~mild~~	~~high~~	~~strong~~	~~no~~

	Yes	No	Total
High	0	3	3
Normal	2	0	2

$$\mathrm{H}(\mathrm{S}, humidity) = -\frac{3}{5}\left(\frac{3}{3}\log_2\left(\frac{3}{3}\right)\right) - \frac{2}{5}\left(\frac{2}{2}\log_2\left(\frac{2}{2}\right)\right)$$

= 0

$$G(S, humidity) = 0.97 - 0 = 0.97$$

Tính toán cho thuộc tính Wind

day	outlook	temperature	humidity	wind	play
1	sunny	hot	high	weak	no
2	sunny	hot	high	strong	no
~~3~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~high~~	~~weak~~	~~yes~~
~~4~~	~~rainy~~	~~mild~~	~~high~~	~~weak~~	~~yes~~
~~5~~	~~rainy~~	~~cool~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
~~6~~	~~rainy~~	~~cool~~	~~normal~~	~~strong~~	~~no~~
~~7~~	~~overcast~~	~~cool~~	~~normal~~	~~strong~~	~~yes~~
8	sunny	mild	high	weak	no
9	sunny	cool	normal	weak	yes
~~10~~	~~rainy~~	~~mild~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
11	sunny	mild	normal	strong	yes
~~12~~	~~overcast~~	~~mild~~	~~high~~	~~strong~~	~~yes~~
~~13~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
~~14~~	~~rainy~~	~~mild~~	~~high~~	~~strong~~	~~no~~

	Yes	No	Total
Weak	1	2	3
Strong	1	1	2

$$\mathrm{H}(\mathrm{S}, Wind) = -\frac{3}{5}\left(\frac{1}{3}\log_2\left(\frac{1}{3}\right) + \frac{2}{3}\log_2\left(\frac{2}{3}\right)\right) - \frac{2}{5}\left(\frac{1}{2}\log_2\left(\frac{1}{2}\right) + \frac{1}{2}\log_2\left(\frac{1}{2}\right)\right)$$

$= 0.95$

$$G(S, Wind) = 0.97 - 0.95 = 0.02$$

Tổng hợp

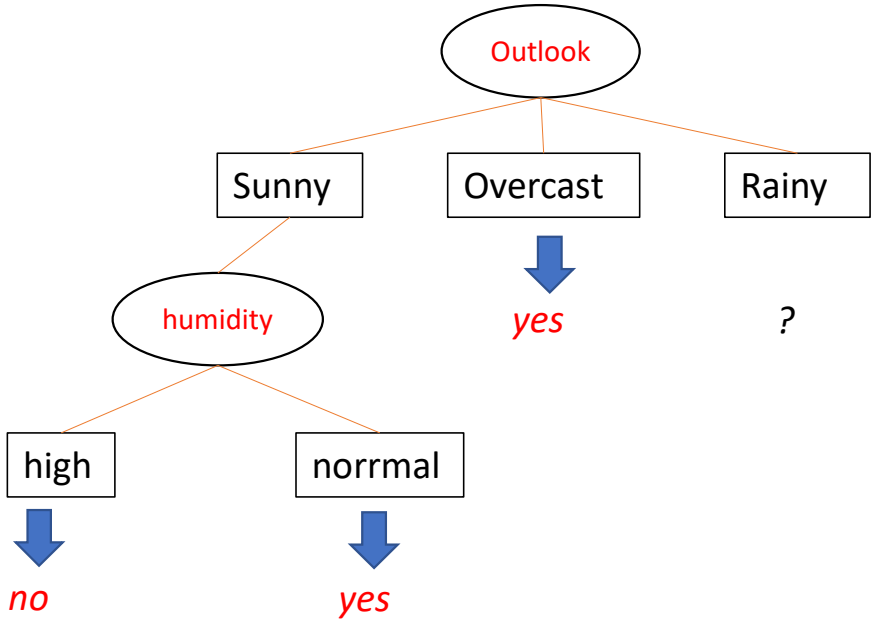
day	outlook	temperature	humidity	wind	play
1	sunny	hot	high	weak	no
2	sunny	hot	high	strong	no
~~3~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~high~~	~~weak~~	~~yes~~
~~4~~	~~rainy~~	~~mild~~	~~high~~	~~weak~~	~~yes~~
~~5~~	~~rainy~~	~~cool~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
~~6~~	~~rainy~~	~~cool~~	~~normal~~	~~strong~~	~~no~~
~~7~~	~~overcast~~	~~cool~~	~~normal~~	~~strong~~	~~yes~~
8	sunny	mild	high	weak	no
9	sunny	cool	normal	weak	yes
~~10~~	~~rainy~~	~~mild~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
11	sunny	mild	normal	strong	yes
~~12~~	~~overcast~~	~~mild~~	~~high~~	~~strong~~	~~yes~~
~~13~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
~~14~~	~~rainy~~	~~mild~~	~~high~~	~~strong~~	~~no~~

- Temp: G(S, Temp) = 0.57
- Humidity: G(S, humidity) = 0.97
- Wind: G(S, Wind) = 0.02

➔ Chọn Humidity làm gốc.

Tổng hợp

day	outlook	temperature	humidity	wind	play
1	sunny	hot	high	weak	no
2	sunny	hot	high	strong	no
~~3~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~high~~	~~weak~~	~~yes~~
~~4~~	~~rainy~~	~~mild~~	~~high~~	~~weak~~	~~yes~~
~~5~~	~~rainy~~	~~cool~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
~~6~~	~~rainy~~	~~cool~~	~~normal~~	~~strong~~	~~no~~
~~7~~	~~overcast~~	~~cool~~	~~normal~~	~~strong~~	~~yes~~
8	sunny	mild	high	weak	no
9	sunny	cool	normal	weak	yes
~~10~~	~~rainy~~	~~mild~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
11	sunny	mild	normal	strong	yes
~~12~~	~~overcast~~	~~mild~~	~~high~~	~~strong~~	~~yes~~
~~13~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
~~14~~	~~rainy~~	~~mild~~	~~high~~	~~strong~~	~~no~~



Xét nhánh Outlook = Rainy

day	outlook	temperature	humidity	wind	play
~~1~~	~~sunny~~	~~hot~~	~~high~~	~~weak~~	~~no~~
~~2~~	~~sunny~~	~~hot~~	~~high~~	~~strong~~	~~no~~
~~3~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~high~~	~~weak~~	~~yes~~
4	rainy	mild	high	weak	yes
5	rainy	cool	normal	weak	yes
6	rainy	cool	normal	strong	no
~~7~~	~~overcast~~	~~cool~~	~~normal~~	~~strong~~	~~yes~~
~~8~~	~~sunny~~	~~mild~~	~~high~~	~~weak~~	~~no~~
~~9~~	~~sunny~~	~~cool~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
10	rainy	mild	normal	weak	yes
~~11~~	~~sunny~~	~~mild~~	~~normal~~	~~strong~~	~~yes~~
~~12~~	~~overcast~~	~~mild~~	~~high~~	~~strong~~	~~yes~~
~~13~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
14	rainy	mild	high	strong	no

- Tổng số lượng dữ liệu: S = 5
- Số thuộc tính thuộc nhãn Play = yes: 3
- Số thuộc tính thuộc nhãn Play = no: 2

➔$H(S) = -\left(\frac{3}{5}\log_2\left(\frac{3}{5}\right) + \frac{2}{5}\log_2\left(\frac{2}{5}\right)\right)$

$= 0.97$

Tính toán cho thuộc tính Temp

day	outlook	temperature	humidity	wind	play
~~1~~	~~sunny~~	~~hot~~	~~high~~	~~weak~~	~~no~~
~~2~~	~~sunny~~	~~hot~~	~~high~~	~~strong~~	~~no~~
~~3~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~high~~	~~weak~~	~~yes~~
4	rainy	mild	high	weak	yes
5	rainy	cool	normal	weak	yes
6	rainy	cool	normal	strong	no
~~7~~	~~overcast~~	~~cool~~	~~normal~~	~~strong~~	~~yes~~
~~8~~	~~sunny~~	~~mild~~	~~high~~	~~weak~~	~~no~~
~~9~~	~~sunny~~	~~cool~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
10	rainy	mild	normal	weak	yes
~~11~~	~~sunny~~	~~mild~~	~~normal~~	~~strong~~	~~yes~~
~~12~~	~~overcast~~	~~mild~~	~~high~~	~~strong~~	~~yes~~
~~13~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
14	rainy	mild	high	strong	no

	Yes	No	Total
Mild	2	1	3
Cool	1	1	2

$$\mathrm{H}(\mathrm{S}, temp) = -\frac{3}{5}\left(\frac{2}{3}\log_2\left(\frac{2}{3}\right) + \frac{1}{3}\log_2\left(\frac{1}{3}\right)\right) - \frac{2}{5}\left(\frac{1}{2}\log_2\left(\frac{1}{2}\right) + \frac{1}{2}\log_2\left(\frac{1}{2}\right)\right)$$

= 0.95

$$G(S, Temp) = 0.97 - 0.95 = 0.02$$

Tính toán cho thuộc tính Humidity

day	outlook	temperature	humidity	wind	play
~~1~~	~~sunny~~	~~hot~~	~~high~~	~~weak~~	~~no~~
~~2~~	~~sunny~~	~~hot~~	~~high~~	~~strong~~	~~no~~
~~3~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~high~~	~~weak~~	~~yes~~
4	rainy	mild	high	weak	yes
5	rainy	cool	normal	weak	yes
6	rainy	cool	normal	strong	no
~~7~~	~~overcast~~	~~cool~~	~~normal~~	~~strong~~	~~yes~~
~~8~~	~~sunny~~	~~mild~~	~~high~~	~~weak~~	~~no~~
~~9~~	~~sunny~~	~~cool~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
10	rainy	mild	normal	weak	yes
~~11~~	~~sunny~~	~~mild~~	~~normal~~	~~strong~~	~~yes~~
~~12~~	~~overcast~~	~~mild~~	~~high~~	~~strong~~	~~yes~~
~~13~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
14	rainy	mild	high	strong	no

	Yes	No	Total
High	1	1	2
Normal	2	1	3

$$\mathrm{H}(\mathrm{S}, humidity) = -\frac{2}{5}\left(\frac{1}{2}\log_2\left(\frac{1}{2}\right) + \frac{1}{2}\log_2\left(\frac{1}{2}\right)\right) - \frac{3}{5}\left(\frac{2}{3}\log_2\left(\frac{2}{3}\right) + \frac{1}{3}\log_2\left(\frac{1}{3}\right)\right)$$

= 0.55

$$G(S, humidity) = 0.97 - 0.95 = 0.02$$

Tính toán cho thuộc tính Wind

day	outlook	temperature	humidity	wind	play
~~1~~	~~sunny~~	~~hot~~	~~high~~	~~weak~~	~~no~~
~~2~~	~~sunny~~	~~hot~~	~~high~~	~~strong~~	~~no~~
~~3~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~high~~	~~weak~~	~~yes~~
4	rainy	mild	high	weak	yes
5	rainy	cool	normal	weak	yes
6	rainy	cool	normal	strong	no
~~7~~	~~overcast~~	~~cool~~	~~normal~~	~~strong~~	~~yes~~
~~8~~	~~sunny~~	~~mild~~	~~high~~	~~weak~~	~~no~~
~~9~~	~~sunny~~	~~cool~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
10	rainy	mild	normal	weak	yes
~~11~~	~~sunny~~	~~mild~~	~~normal~~	~~strong~~	~~yes~~
~~12~~	~~overcast~~	~~mild~~	~~high~~	~~strong~~	~~yes~~
~~13~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
14	rainy	mild	high	strong	no

	Yes	No	Total
Weak	3	0	3
Strong	2	0	2

$$\mathrm{H}(\mathrm{S}, Wind) = -\frac{3}{5}\left(\frac{3}{3}\log_2\left(\frac{3}{3}\right)\right) - \frac{2}{5}\left(\frac{2}{2}\log_2\left(\frac{2}{2}\right)\right)$$

= 0

$$G(S, Wind) = 0.97 - 0 = 0.97$$

Tổng hợp

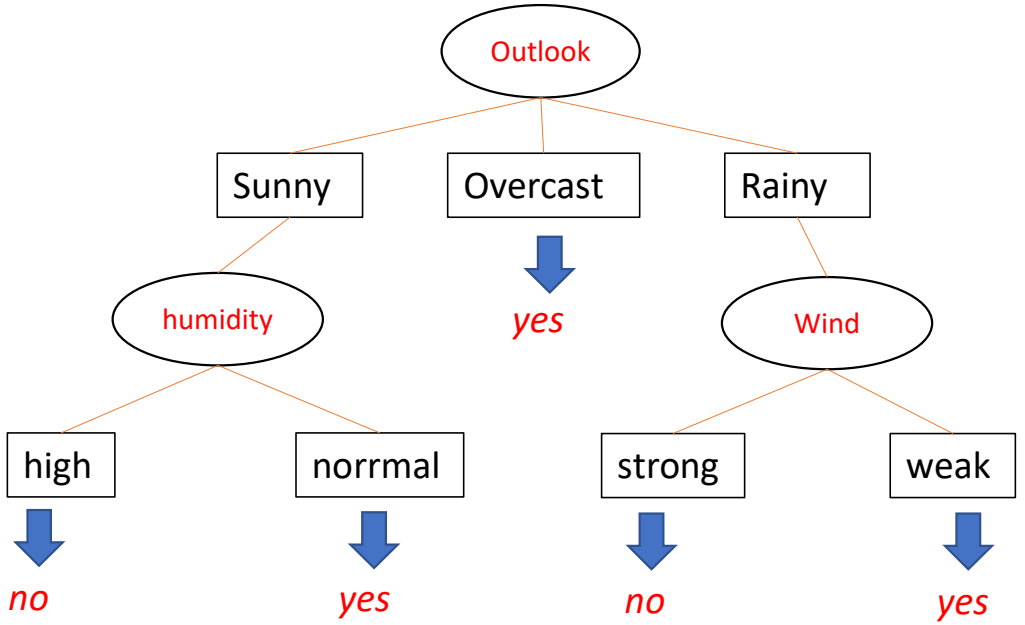
day	outlook	temperature	humidity	wind	play
~~1~~	~~sunny~~	~~hot~~	~~high~~	~~weak~~	~~no~~
~~2~~	~~sunny~~	~~hot~~	~~high~~	~~strong~~	~~no~~
~~3~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~high~~	~~weak~~	~~yes~~
4	rainy	mild	high	weak	yes
5	rainy	cool	normal	weak	yes
6	rainy	cool	normal	strong	no
~~7~~	~~overcast~~	~~cool~~	~~normal~~	~~strong~~	~~yes~~
~~8~~	~~sunny~~	~~mild~~	~~high~~	~~weak~~	~~no~~
~~9~~	~~sunny~~	~~cool~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
10	rainy	mild	normal	weak	yes
~~11~~	~~sunny~~	~~mild~~	~~normal~~	~~strong~~	~~yes~~
~~12~~	~~overcast~~	~~mild~~	~~high~~	~~strong~~	~~yes~~
~~13~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
14	rainy	mild	high	strong	no

- Temp: G(S, Temp) = 0.02
- Humidity: G(S, humidity) = 0.02
- Wind: G(S, Wind) = 0.97

➔ Chọn Wind làm gốc.

Tổng hợp

day	outlook	temperature	humidity	wind	play
~~1~~	~~sunny~~	~~hot~~	~~high~~	~~weak~~	~~no~~
~~2~~	~~sunny~~	~~hot~~	~~high~~	~~strong~~	~~no~~
~~3~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~high~~	~~weak~~	~~yes~~
4	rainy	mild	high	weak	yes
5	rainy	cool	normal	weak	yes
6	rainy	cool	normal	strong	no
~~7~~	~~overcast~~	~~cool~~	~~normal~~	~~strong~~	~~yes~~
~~8~~	~~sunny~~	~~mild~~	~~high~~	~~weak~~	~~no~~
~~9~~	~~sunny~~	~~cool~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
10	rainy	mild	normal	weak	yes
~~11~~	~~sunny~~	~~mild~~	~~normal~~	~~strong~~	~~yes~~
~~12~~	~~overcast~~	~~mild~~	~~high~~	~~strong~~	~~yes~~
~~13~~	~~overcast~~	~~hot~~	~~normal~~	~~weak~~	~~yes~~
14	rainy	mild	high	strong	no



Dừng !!!

Hiện thực bằng thư viện sklearn

- Tạo file csv từ dữ liệu (file golf.csv).

- Đọc dữ liệu bằng thư viện pandas:

```
1. import pandas as pd
2. dataset = pd.read_csv(golf.csv', index_col=False)
```

Huấn luyện mô hình

- Chuẩn bị dữ liệu:

```
1. X = dataset_encoded.iloc[:, 1:5]
2. y = dataset_encoded['play']
```

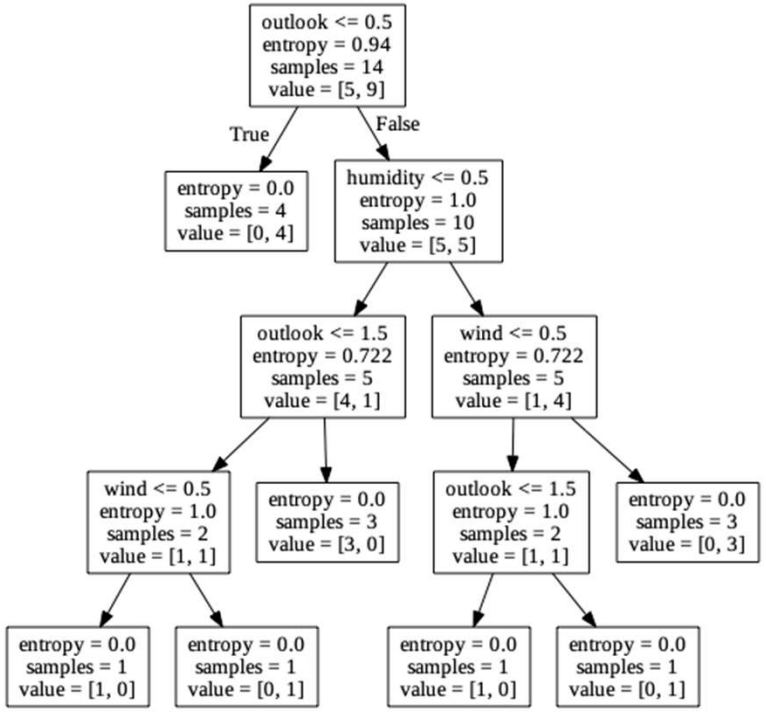
- Huấn luyện cây quyết định: sử dụng thư viện *DecisionTreeClassifier* với độ đo Entropy.

```
1. from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier


2. model = DecisionTreeClassifier(criterion='entropy')
3. model.fit(X,y)
```

Visualize mô hình

```
1. from sklearn.tree import export_graphviz
2. dot_data = export_graphviz(
3.                 model,
4.                 feature_names=dataset.columns[1:5]
5.             )
6. graph = graphviz.Source(dot_data)
7. graph = graphviz.Source(dot_data)
8. graph.render(golf')
```



❸ Thực hành với python-Xây dựng và vẽ cây quyết định

Sinh viên thực hành đoạn code trang 177, 178

❹ Điều kiện dừng

KHI NÀO THÌ DỪNG QUÁ TRÌNH XÂY DỰNG CÂY? HIỆU CHỈNH SIÊU THAM SỐ ĐỂ TRÁNH HIỆN TƯỢNG QUÁ KHỚP (OVERFITTING)

DecisionTreeClassifier có các siêu tham số (tr 184)

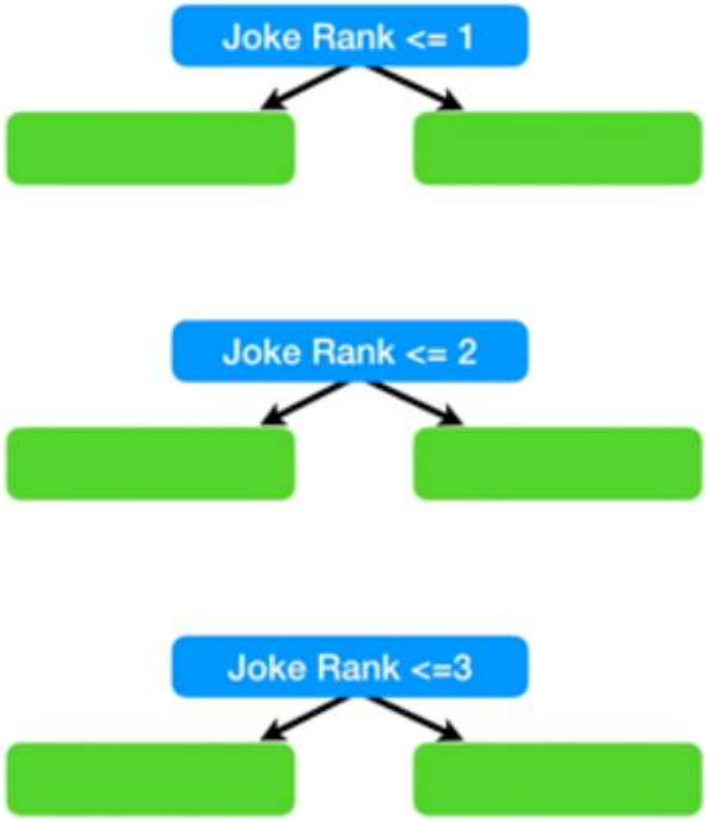
- max_depth:
- min_samples_leaf:
- min_samples_split:
- ....

Quá trình này gọi là thêm ràng buộc cho các siêu tham số- Regularization Hyperparameters

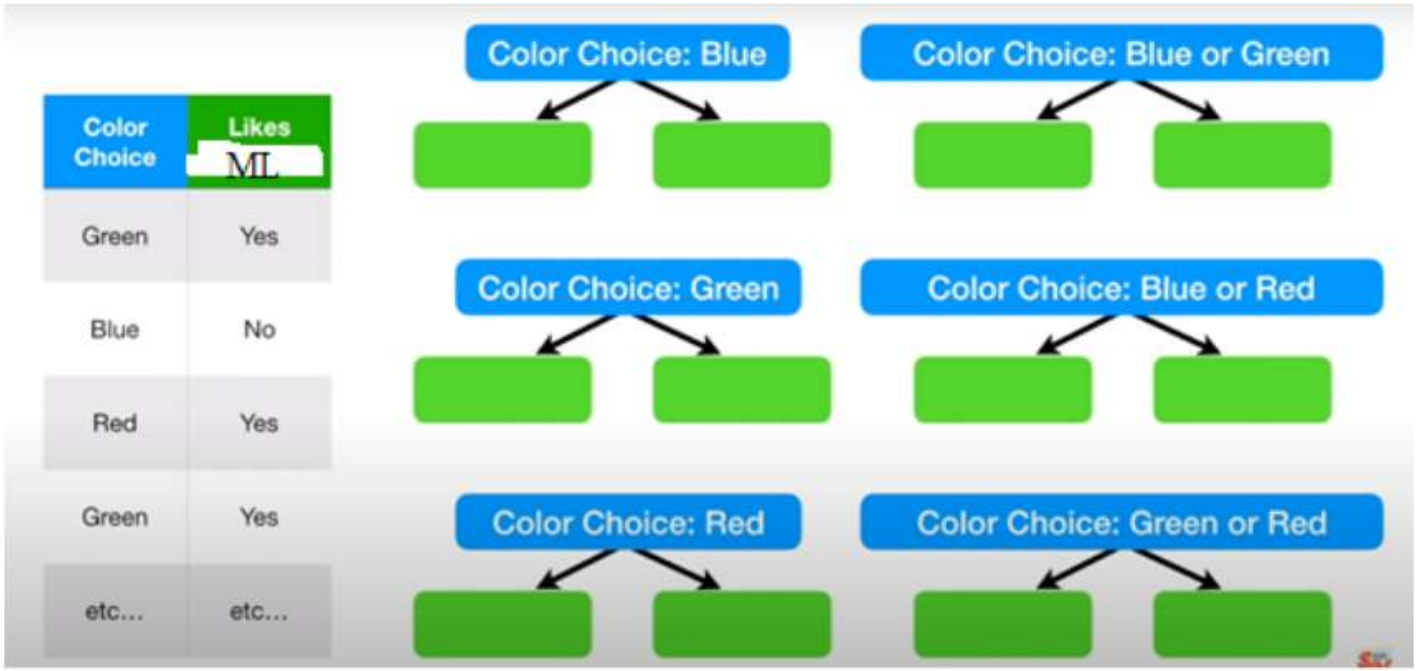
5 Xử lý một số dạng dữ liệu khác

TÍNH ĐỘ KHÔNG THUẦN KHIẾT CỦA THUỘC TÍNH CÓ DỮ LIỆU ĐƯỢC XẾP HẠNG (RANKED DATA)

Rank my jokes...	Like ML
1	Yes
1	No
3	Yes
1	Yes
etc...	etc...



TÍNH ĐỘ KHÔNG THUẦN KHIẾT CỦA THUỘC TÍNH CÓ DỮ LIỆU NHIỀU CHỌN LỰA



Hình 7

Bài tập áp dụng

- Bộ dữ liệu Titanic dataset dùng để dự đoán khả năng một người sống sót sau thảm hoạ Titanic dựa vào các thuộc tính khác nhau.
- Link: https://www.kaggle.com/c/titanic/data?select=train.csv
- Yêu cầu:
  1. Xây dựng mô hình Decision Tree từ bộ dữ liệu trên.
  2. Đánh giá khả năng phân lớp của mô hình (dựa vào tập test và các độ đo đã học).

Các kỹ thuật giảm overfit

- Pruning (cắt tỉa): tạo ra một tập dữ liệu phát triển (validation), sau đó, đi ngược lên từ leaf-node và cắt tỉa các sibling node (giá trị) sao cho độ chính xác trên tập phát triển cải thiện hơn ➔ đang điều chỉnh lại tham số.
- Regularization: Cộng thêm một đại lượng λK vào hàm mất mát, với K là số lớp (hay là số nút lá).

$$H(x, S) = \sum_{k=1}^{K} H(S_k) \frac{m_K}{N} + \lambda K$$

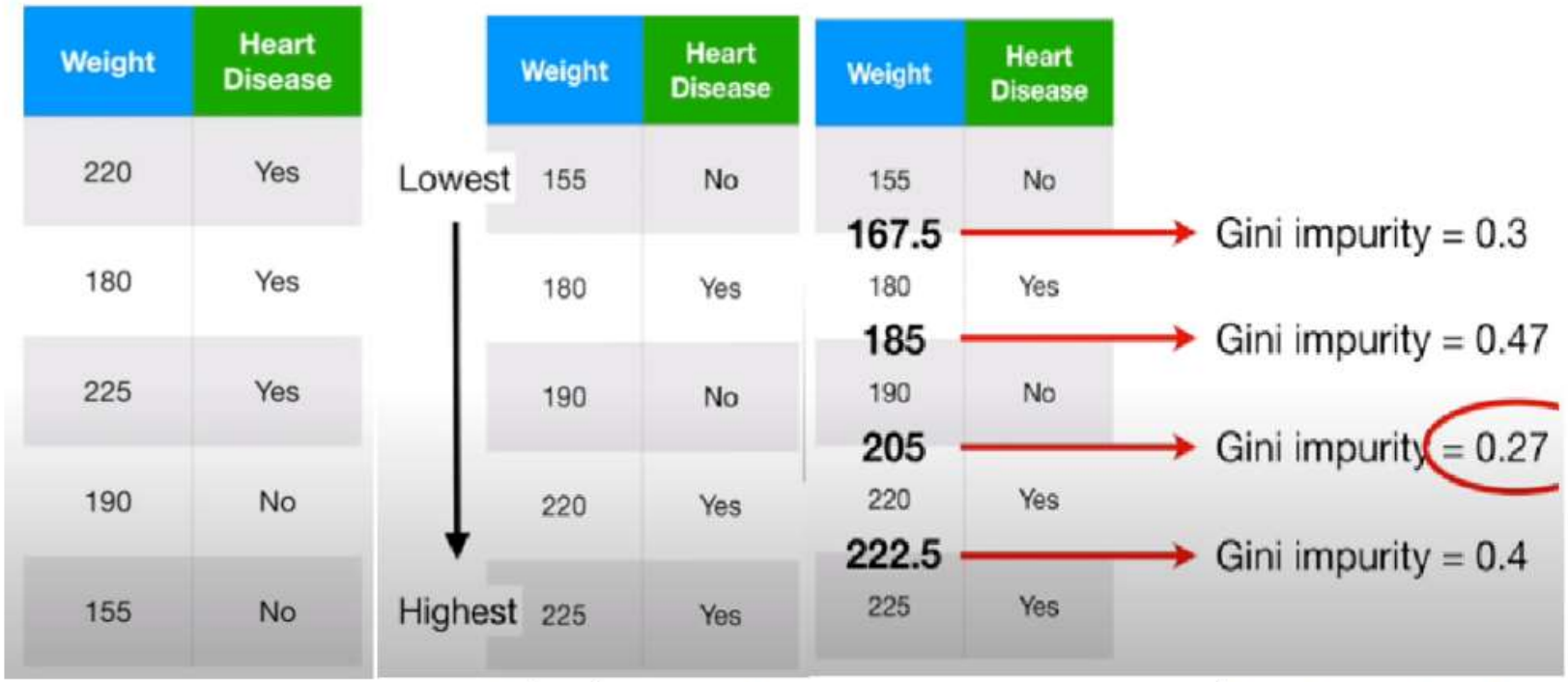
TÍNH ĐỘ KHÔNG THUẦN KHIẾT CỦA THUỘC TÍNH CÓ DỮ LIỆU SỐ ?

Weight	Heart Disease
220	Yes
180	Yes
225	Yes
190	No
155	No

Dữ liệu số

Hình 3

TÍNH ĐỘ KHÔNG THUẦN KHIẾT CỦA THUỘC TÍNH CÓ DỮ LIỆU SỐ



Hình 4

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Chương 5 của sách: *Hands-on Machine Learning with ScikitLearn, Keras & TensorFlow.*
2. Chương 6 của sách: *Hands-on Machine Learning with ScikitLearn, Keras & TensorFlow.*