STIparseur

Matthias Personnaz (ECL20)

November 14, 2021

1 Parseur à l'aide d'automates en STI

Ce document explique comment synthétiser un circuit minimal (au sens des automates finis déterministes, pas nécessairement au sens du nombre de transistors) détectant un motif binaire à l'aide d'une machine de Moore (donc théorie des automates en informatique). J'ai utilisé des bibliothèques Python adaptées (*automata*: https://github.com/caleb531/automata/ et Sympy) et déjà existantes pour simplifier la tâche. L'output produit est directement utilisable pour créer le circuit sur LTSpice.

[20]:
```
from automata.fa.dfa import DFA
from automata.fa.nfa import NFA

from visual_automata.fa.dfa import VisualDFA
from visual_automata.fa.nfa import VisualNFA

import numpy as np
import sympy
import itertools
```

On commence par créer quelques automates pour vérifier que tout fonctionne

[21]:
```
nfa = VisualNFA(
    states={"q0", "q1", "q2", "q3", "q4"},
    input_symbols={"0", "1"},
    transitions={
        "q0": {"0": {"q3"}, "1": {"q1", "q2"}},
        "q1": {"0": {"q3"}, "1": {"q1"}},
        "q2": {"0": {"q3"}, "1": {"q2", "q3"}},
        "q3": {"0": {"q4"}, "1": {"q1"}},
        "q4": {"0": {"q4"}, "1": {"q1"}},
    },
    initial_state="q0",
    final_states={"q2", "q4"},
)

dfa = VisualDFA(
    states={"q0", "q1", "q2", "q3", "q4"},
    input_symbols={"0", "1"},
```

```
    transitions={
        "q0": {"0": "q3", "1": "q1"},
        "q1": {"0": "q3", "1": "q2"},
        "q2": {"0": "q3", "1": "q2"},
        "q3": {"0": "q4", "1": "q1"},
        "q4": {"0": "q4", "1": "q1"},
    },
    initial_state="q0",
    final_states={"q2", "q4"},
)
```

2 Synthèse d'automate de recherche de motif avec des portes OU et ET

2.1 Construction naïve avec les méthodes de déterminisation de la classe `automata.fa`

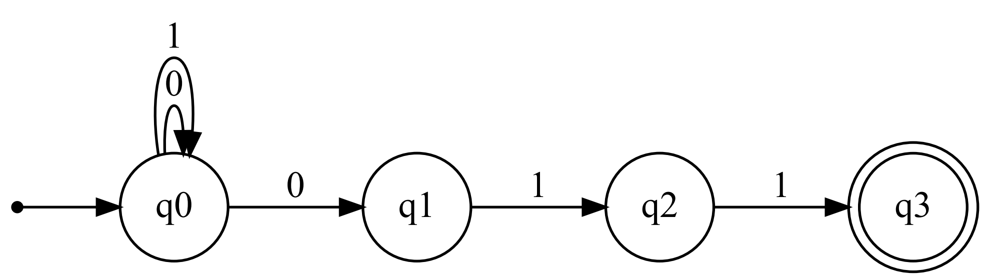
[219]:
```
## On commence par synthétiser les variables pour un AFD naïf qui cherche notre␣
↪motif binaire
alphabet = {"0","1"}
motBinaire = "011"
motif = list(motBinaire)
etats = set([f"q{i}" for i in range(len(motif)+1)])
ef = f"q{len(motif)}"
trans = [{motif[i]:set([f"q{i+1}"])} for i in range(len(motif))]
delta = {f"q{i}":x for i,x in enumerate(trans)} # dict(enumerate(trans))␣
↪donnerait des entiers
# on ajoute les deux transitions absorbantes dans le dernier état:
delta[ef] = {e: {ef} for e in alphabet} # pour détecter une séquence   ␣
↪CONTENANT     le motif i.e. reconnaissant Σ*uΣ*
delta[ef] = {}                          # pour détecter une séquence SE␣
↪TERMINANT par le motif i.e. reconnaissant Σ*u
# on ajoute les transitions absorbantes pour le premier état:
for a in alphabet:
    if a == motBinaire[0]:
        delta["q0"][a].add("q0")
    else:
        delta["q0"][a] = {"q0"}

## On crée ensuite l'automate à proprement parler dans la bibliothèque automata
## qu'on déterminise grâce à l'automate des parties puis minimise avec␣
↪l'algorithme de Moore
nfa = NFA(states=etats, input_symbols=alphabet, transitions=delta,␣
↪initial_state="q0", final_states={ef})
nfav = VisualNFA(nfa)
dfa = DFA.from_nfa(nfa)
```

```
dfav = VisualDFA(dfa)
min_dfa = dfa.minify(retain_names=False)
min_dfav = VisualDFA(min_dfa)


def echangerEtats(A,q1,q2): # pour un automate déterministe
    # d'abord on change les transisions ENTRANTES de chaque état
    for q in A.states:
        for a in A.input_symbols:
            if A.transitions[q][a] == q1:
                A.transitions[q][a] = q2
            elif A.transitions[q][a] == q2:
                A.transitions[q][a] = q1

    # on échange les bases des transitions SORTANTES des deux états échangés
    A.transitions[q1],A.transitions[q2] = A.transitions[q2],A.transitions[q1]

    if q1 in A.final_states and q2 not in A.final_states:
        A.final_states.remove(q1)
        A.final_states.add(q2)
    elif q2 in A.final_states and q1 not in A.final_states:
        A.final_states.remove(q2)
        A.final_states.add(q1)

    if A.initial_state == q1:
        A.initial_state = q2
    elif A.initial_state == q2:
        A.initial_state = q1

## à ce stade l'état initial n'est pas forcément numéroté à 0
## ce qui est primordial ensuite pour l'implémentation avec des transtors
if min_dfav.initial_state != '0':
    echangerEtats(min_dfav,'0',min_dfav.initial_state)
```

Ci-dessous, on affiche les trois automates successivement créés: NDFA, à DFA au DFA minimal.\

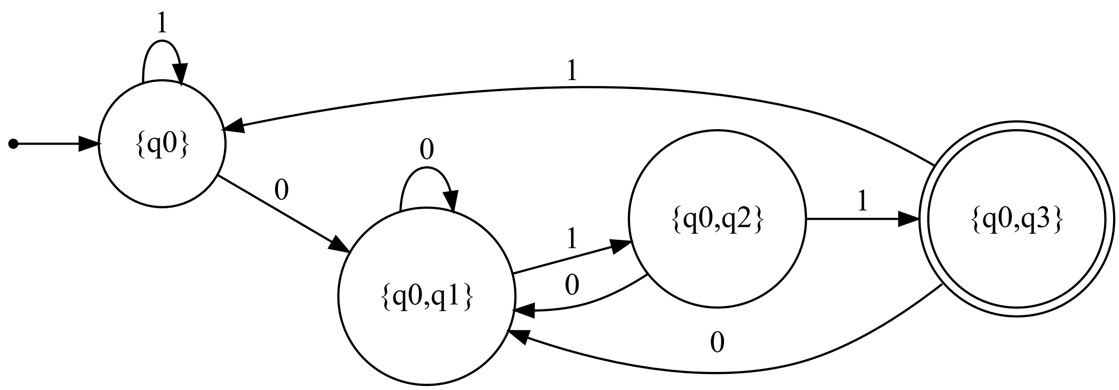
[220]:
```
nfav.show_diagram()
```

[220]:



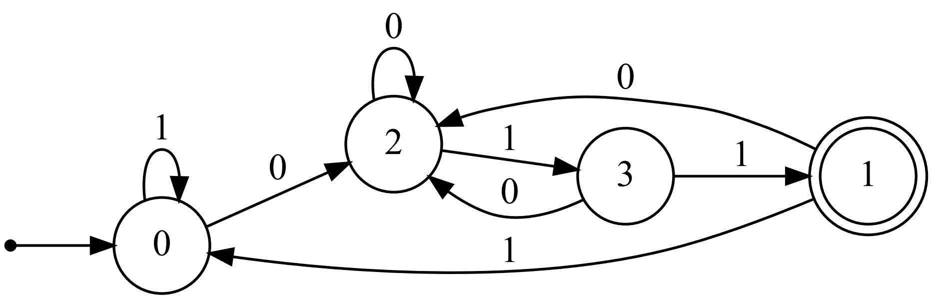
[221]:
```
dfav.show_diagram()
```

[221]:



[222]:
```
min_dfav.show_diagram()
```

[222]:



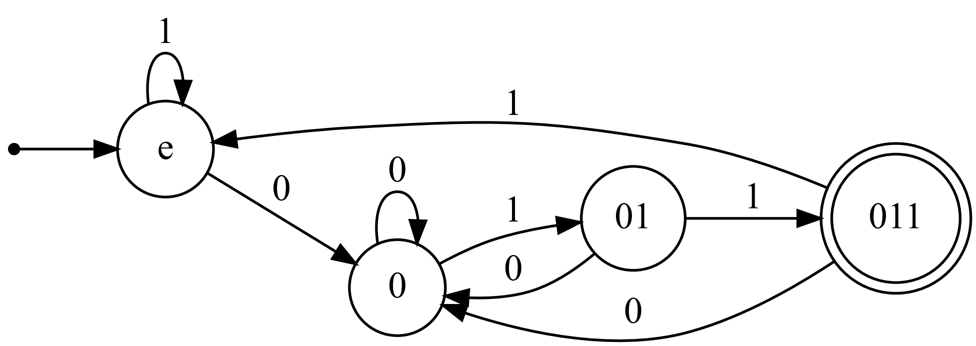
2.2 Construction à l'aide de l'algorithme de Knuth-Morris-Pratt

L'algorithme KMP consiste à construire récursivement un automate reconnaissant u défini par (on note $P(u)$ l'ensemble des préfixes de u): $(A, P(u), \{\epsilon\}, \{u\}, \delta)$ où $\forall p \in P(u), \forall x \in \Sigma, \delta(p,x) = s(px)$ en notant $s(v)$ le plus long suffixe de v appartenant à $P(u)$. Cela demande moins de travail, permet de construire explicitement l'automate sans avoir à recourir aux techniques de minimisation, coûteuses en opérations. D'autre part, cela permet aussi de s'affranchir du besoin de la bibliothèque `automata` et de remplir ensuite la table de transition pour appliquer la méthode de Karnaugh directement avec Sympy.

[223]:
```
motBinaire = "011"
prefixesMotBinaire = ['e']+[motBinaire[:l] for l in range(1,len(motBinaire)+1)]

alphabet = {"0","1"}
etats = set(prefixesMotBinaire)
```

```
delta = {p:{} for p in prefixesMotBinaire}

# on complète les transitions absorbantes pour le premier état
delta['e']['0'] = 'e' if motBinaire[0] != '0' else motBinaire[0]
delta['e']['1'] = 'e' if motBinaire[0] != '1' else motBinaire[0]

# on remplit les transitions à l'aide de l'algorithme KMP
for i in range(0,len(motBinaire)):
    p = motBinaire[0:i+1]
    # print(f'ajout de {p}')
    suffPref0 = [p[j:]+'0' for j in range(len(p)+1) if p[j:]+'0' in prefixesMotBinaire]
    suffPref1 = [p[j:]+'1' for j in range(len(p)+1) if p[j:]+'1' in prefixesMotBinaire]
    delta[p]['0'] = max(suffPref0, key=len) if suffPref0 != [] else 'e'
    # print(f'suffixes pour les transition lisant 0: {suffPref0}')
    # print(f'suffixes pour les transition lisant 1: {suffPref1}')
    delta[p]['1'] = max(suffPref1, key=len) if suffPref1 != [] else 'e'

dfaKMP = DFA(states=etats, input_symbols=alphabet, transitions=delta, initial_state='e', final_states={motBinaire})
dfaKMPv = VisualDFA(dfaKMP)
dfaKMPv.show_diagram(path='./dfaKMP.png')
```

[223]:



On obtient exactement le même automate que celui de la section précédente, par déterminisation. Mais nous n'avons pas utilisé l'algorithme de Moore. Remarque: comme tout à l'heure pour obtenir l'automate reconnaissant $\Sigma^* u \Sigma^*$ il suffit de transformer l'état acceptant en puits.

[224]:
```
dfaKMP <= min_dfa and dfaKMP <= min_dfa
```

[224]: True

3 Création des formules en logique booléennes pour l'implémentation dans LTSpice

[225]:
```
## On crée ensuite la table de transition
def integer2binaryArray(i,nBits):
    return np.chararray.astype(np.array(list( format(i, f"0{nBits}b") )),int)

nStates = len(min_dfav.states)
lAlpha  = len(min_dfav.input_symbols)
bStates = np.ceil(np.log2(nStates)).astype(int)
bAlpha = np.ceil(np.log2(lAlpha)).astype(int)
transitionTable = np.zeros((lAlpha*nStates,2*(bStates+2)),dtype=int)

for e in sorted(min_dfav.states):
    en = int(e)
    for c in sorted(min_dfav.input_symbols):
        cn = int(c)
        # numéro état de départ
        transitionTable[en*lAlpha+cn][0]                               = e
        # codage binaire état de départ
        transitionTable[en*lAlpha+cn][1:bStates+1]                     =␣
 ↪integer2binaryArray(en,bStates)
        # numéro du caractère lu
        transitionTable[en*lAlpha+cn][bStates+1]                       = cn
        # numéro état d'arrivée
        transitionTable[en*lAlpha+cn][bStates+2]                       =␣
 ↪int(min_dfav.transitions[e][c])
        # codage binaire état arrivée
        transitionTable[en*lAlpha+cn][bStates+3:bStates+3+bStates]   = \
        integer2binaryArray(int(min_dfav.transitions[e][c]),bStates)
        # sortie (binaire): état acceptant ou non
        transitionTable[en*lAlpha+cn][bStates+3+bStates]               = \
        int(min_dfav.transitions[e][c] in min_dfav.final_states)

## Réduction par l'algorithme de Quine-McCluskey pour chaque bit de codage de␣
 ↪l'état:
## On utilise ici la bibliothèque scientifique sympy


caracteresCodageEtat = ' '.join([f'e{bStates-j-1}' for j in range(bStates)]) #␣
 ↪list(string.ascii_lowercase)[:bStates]
symbSortie = sympy.symbols(caracteresCodageEtat)
symbEtats  = sympy.symbols(caracteresCodageEtat+' char')
```

```python
def solveEtats(q):
    dontcares = [list(np.append(integer2binaryArray(m,bStates),a)) for (m,a) in␣
 ↪\
                 itertools.product(range(nStates,2**bStates),range(lAlpha))]
    minterms = [list(r[1:bStates+2]) for r in transitionTable if r[q]]
    return sympy.logic.SOPform(list(symbEtats), minterms, dontcares)

def solveSortie(q):
    dontcares = [list(integer2binaryArray(m,bStates)) for m in␣
 ↪range(nStates,2**bStates)]
    minterms = [list(r[1:bStates+1]) for r in transitionTable if r[q]]
    return sympy.logic.SOPform(list(symbSortie), minterms, dontcares)

print("Nomenclature: [poids fort] "+caracteresCodageEtat+" [poids faible]\n")
for q in range(bStates+3,bStates+3+bStates):
    print(f"[SOP du bit de poids 2^{2*bStates+2-q}] =  {solveEtats(q)}\n")

print(f"[SOP d'acceptation] =  {solveSortie(2*bStates+3)}")
```

```
Nomenclature: [poids fort] e1 e0 [poids faible]

[SOP du bit de poids 2^1] =  ~char | (e1 & ~e0)

[SOP du bit de poids 2^0] =  char & e1

[SOP d'acceptation] =  e0 & e1
```

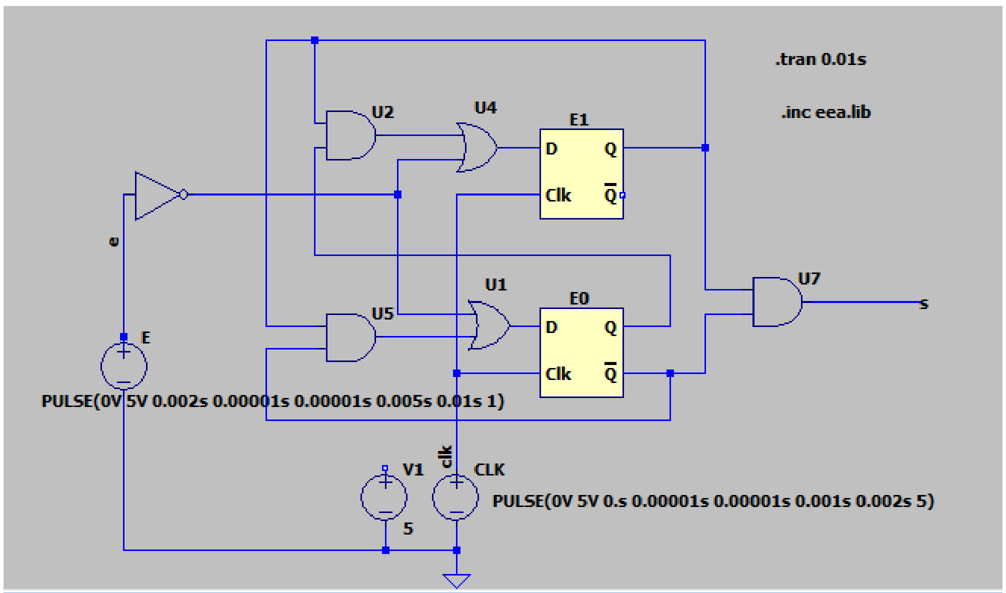
Ces formules minimales sont à insérer dans le schéma pour fabriquer une machine de Moore, voir poly de STI Ci-dessous on affiche la table de transision

[27]:
```python
def espaceAdaptatif(t,d):
    return str(t) + (d-len(str(t)))*' '

def afficheMatrice(mat):
    print('q  bin(q)'+(2*bStates-4)*' '+'| a | Δ(q,a)'+(2*bStates+4)*' '+'acc?')
    print((2*bStates+29)*'-')
    for i in range(np.shape(mat)[0]):
        t = ''
        t += espaceAdaptatif(mat[i][0],3)  \
          + str(mat[i][1:bStates+1]) + ' | ' + str(mat[i][bStates+1]) + ' | ' +␣
 ↪espaceAdaptatif(mat[i][bStates+2],2) +4*' ' + str(mat[i][bStates+3:
 ↪2*bStates+3]) + ' | ' + str(mat[i][-1])
        print(t)
afficheMatrice(transitionTable)
```

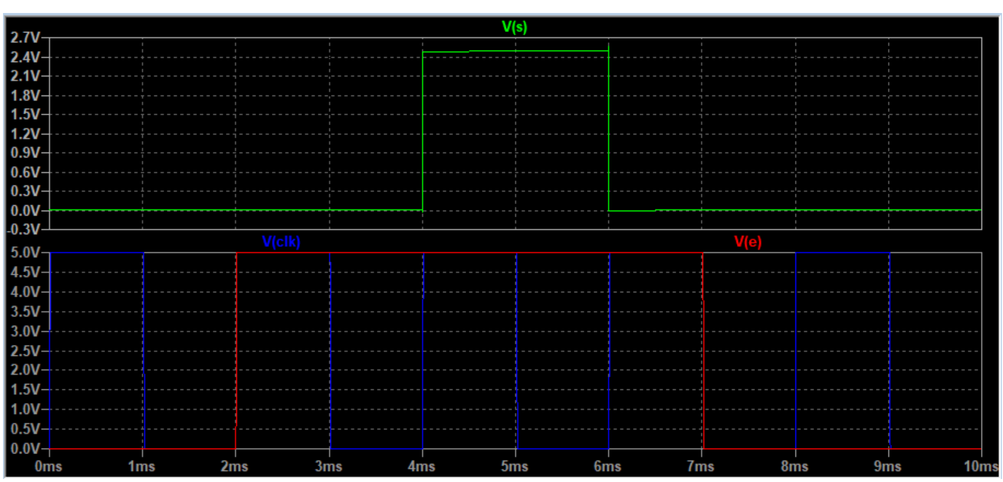
```
q  bin(q)  | a | Δ(q,a)         acc?
-----------------------------------
0  [0 0 0] | 0 | 0     [0 0 0] | 0
```

```
0   [0 0 0]  | 1 | 3      [0 1 1]  | 0
1   [0 0 1]  | 0 | 0      [0 0 0]  | 0
1   [0 0 1]  | 1 | 5      [1 0 1]  | 0
2   [0 1 0]  | 0 | 1      [0 0 1]  | 1
2   [0 1 0]  | 1 | 3      [0 1 1]  | 0
3   [0 1 1]  | 0 | 4      [1 0 0]  | 0
3   [0 1 1]  | 1 | 3      [0 1 1]  | 0
4   [1 0 0]  | 0 | 0      [0 0 0]  | 0
4   [1 0 0]  | 1 | 5      [1 0 1]  | 0
5   [1 0 1]  | 0 | 4      [1 0 0]  | 0
5   [1 0 1]  | 1 | 2      [0 1 0]  | 0
```

On peut ainsi créer le schéma à partir des formules fournies par le code dans LTSpice :



et constater que le résultat donné est bien celui attendu (figure 1 et 2). Le circuit valide une entrée se terminant par '011' sur les fronts montants.



[ ]:

```

```

Brouillon

[28]:

```
list(symbols('u v c'))
```

[28]: [u, v, c]

[29]:

```
alphabet_string = string.ascii_lowercase
alphabet_list = list(alphabet_string)
```

[30]:

```
symb = ' '.join(alphabet_list)
symb
```

[30]: 'a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z'

[31]:

```
list(symbols(symb))
```

[31]: [a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z]

[32]:

```
' '.join(alphabet_list[:bStates])+' etat'
```

[32]: 'a b c etat'