

39. Donat com a entrada un graf no dirigit $G = (V, E)$, definim el problema de GST (graf sense triangles) com el problema de seleccionar el màxim nombre d'arestes E , de manera que el graf $G' = (V, E')$ no contingui cap triangle (i.e. no hi han 3 vèrtexs x, y, z tal que $(x, y), (x, z)$ i (y, z) siguin arestes a G'). Aquest problema és NP-hard. Dissenyeu un algorisme que done una 2-aproximació al problema. Quina és la complexitat del vostre algorisme?.
40. El problema del Tall Maxim (MAX-CUT). Donat un graf no dirigit $G = (V, E)$, el problema del maximum cut (MAX-CUT) es trobar la partició $S \cup \bar{S} = V$ tal que maximitze el nombre d'arestes entre S i $\bar{S}$ ($C(S, \bar{S})$), on $S \subseteq V$ i $\bar{S} = V - S$. La maximització entre totes les possibles particions de V . El problema del MAX-CUT és NP-hard en general. Donat

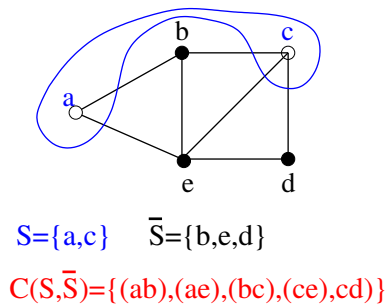


Figura 1: Exemple de MAX-CUT, amb cost òptim 5

$G = (V, E)$ considereu el següent algorisme golafre (greedy) pel problema del MAX-CUT:

Ordeneu els vèrtexs en ordre decreixent respecte al seu grau (nombre veïns). Considereu el resultat de l'ordenació s'escriu com a $(v_1, v_2, \dots, v_n)$. Inicialment tenim $S = \emptyset = \bar{S}$. Al primer pas $v_1 \in S$. Al pas i -èsim col·loquem v_i a S o $\bar{S}$ de manera que maximitze $|C(S, \bar{S})|$.

- (a) Demostreu la correctessa i doneu la complexitat de l'algorisme golafre?
 - (b) Demostreu que aquest algorisme golafre és una 2-aproximació al MAX-CUT
41. Un professor té n revisions d'examen. Abans de començar el professor mira la llista d'estudiants que han sol·licitat revisió i pot calcular, per a cada i , el temps t_i que utilitzarà per atendre l' i -èsim estudiant. El

temps d'espera de l'estudiant i és el temps que el professor triga a revisar els exàmens dels estudiants que van abans que i . Dissenyeu un algorisme per a computar l'ordre s en que els estudiants $1, \dots, n$ han de revisar l'examen de manera que es minimitze el temps total d'espera: $T = \sum_{i=1}^n (\text{temps espera estudiant } i)$.

Doneu-ne la complexitat i la correctesa

42. Si utilitzem l'algorisme de Huffman per a comprimir un text format per n , símbols que apareixen amb freqüències $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$ quina és la màxima longitud de compressió d'un símbol que podem obtenir? Doneu un algorisme per obtenir freqüències on es compleix aquesta condició per un valor de n donat.
43. Considereu el següent problema de planificació. Teniu n treballs. El treball i be determinat pel primer instant de temps al que es pot iniciar, s_i , i el seu temps de processament, p_i . Tenim només un processador i volem una planificació preemptiva a la que l'execució d'un treball es pot aturar a qualsevol instant del temps per tal de continuar-la mes endavant. L'única restricció es que cap treball es pot iniciar abans del seu primer temps d'inici. Per exemple si $n = 2$ i l'entrada es $s_1 = 2, p_1 = 5$ i $s_2 = 0, p_2 = 3$, la planificació a la que el treball 2 s'executa del temps 0 al 2; el treball 1 del temps 2 al 7 i finalitzem el treball 2 del temps 7 al 8 es una planificació preemptiva legal. L'objectiu és obtenir una planificació preemptiva legal que minimitzi el temps en el que s'han completat totes les tasques. Doneu-ne la complexitat i la correctesa del vostre algorisme.
44. Tenim un programa que permet la simulació d'un sistema físic de temps discret. Volem simular tants passos del sistema com sigui possible. El nostre laboratori te accés a dos supercomputadors (A i B) capaços de processar el treball. No obstant això, són màquines compartides i no sempre poden executar els nostres treballs amb la prioritat més alta. Tant A com B poden processar el nostre programa.

Suposem que sabem, pels següents n minuts, la potència de processament disponible a cada màquina. Al minut i , podem executar a_i passos de la simulació a A o bé b_i a B. La simulació es pot transferir d'una màquina a un altra però, per fer-ho, s'ha de salvar i restaurar l'estat i això té un cost d'un minut de temps en el què no es pot fer cap progrés en la simulació. Volem un pla d'execució pels n minuts següents. Aquest pla ha de indicar, per a cada minut, A o B o "mou", i ha de ser consistent amb les restriccions donades. A més, volem que maximitzi el nombre total de passos de simulació executats.

- (a) Demostreu que el següent algorisme no resol correctament el problema proposat.

```

1: procedure PLA D'EXEC( $a, b$ )
2:   if  $a[1] \geq b[1]$  then
3:      $s[1] = 'A'$ 

```

```

4:   else
5:       s[1] = 'B'
6:   end if
7:   i = 2
8:   while i ≤ n do
9:       if s[i - 1] == 'A' then
10:          if b[i + 1] > a[i] + a[i + 1] then
11:              s[i] = 'mou'; s[i + 1] = 'B'; i = i + 2
12:          else
13:              s[i] = 'A'; i = i + 1
14:          end if
15:       else
16:           Com al cas previ canviant A/a per B/b
17:       end if
18:   end while
19: end procedure

```

- (b) Doneu un algorisme eficient que, donats $a_1, \dots, a_n$ i $b_1, \dots, b_n$, proporcionï un pla d'execució que permeti executar el màxim nombre de passos de simulació.

Una Solució:

- (a) Per als vectors $a = \langle 2, 1 \rangle$ i $b = \langle 2, 20 \rangle$, suposant que l'accés fora de rang no falla, el programa retornaria la solució $\langle A, A \rangle$ que és incorrecta.
- (b) Para encontrar una solución analizamos la estructura de suboptimalidad de una solución óptima. Observemos que una solución óptima ejecutará pasos de simulación en el instante n , si no no sería óptima. Puede hacerlo en A o en B . Suponiendo que sea en A , el paso previo puede ser A o mou . En el primer caso la solución debe ser una solución óptima para $n - 1$ pasos ejecutando en A en el paso $n - 1$ y en el segundo una solución óptima para $n - 2$ pasos ejecutando en B en el paso $n - 2$.

Para establecer la recurrencia utilizaremos notación adicional, para $0 \leq k \leq n$:

$A(k)$ = el número máximo de pasos de simulación que podemos ejecutar en k pasos ejecutando la simulación en A en el paso k .

$B(k)$ = el número máximo de pasos de simulación que podemos ejecutar en k pasos ejecutando la simulación en B en el paso k .

Tenemos la recurrencia:

$$A(k) = a(k) + \max(A(k - 1), B(k - 2))$$

$$A(k) = a(m) + \max(B(m - 1), A(k - 2))$$

para $k \geq 2$, y los casos base $A(0) = B(0) = 0$, $A(1) = a[1]$ y $B(1) = b[1]$.

El coste de la solución óptima que buscamos es $\max(A(n), B(n))$.

Como el número total de subproblemas es $O(n)$ podemos utilizar PD. Para ello basta con un recorrido en orden creciente de las dos tablas guardando un puntero con la información de la opción de dónde proviene el valor máximo.

El coste de calcular uno de los valores de la tabla A o B es constante y por ello el algoritmo necesita tiempo $O(n)$ incluido el paso de recuperación de la solución siguiendo la información de los punteros.

45. Considerem una graella de 4 files per n columnes, i un conjunt de $2n$ fitxes. Una fitxa es pot col·locar exactament a una casella de la graella. Definim un *patró legal columna* a una columna de la graella com la situació resultant de col·locar fitxes a la columna de manera que no dues fitxes estiguin en caselles adjacents. De la mateixa manera podem definir un *patró legal fila*. Una *configuració legal* és la situació resultant de situar fitxes a la graella, de manera que totes les columnes i files tinguin patrons legals. A cada casella de la graella hi ha escrit un enter. El *valor* de la configuració és la suma dels enters de les caselles ocupades.

Dos patrons a columnes adjacents són *compatibles* si formen una configuració legal a la matriu formada per les dos columnes.

- (a) Determineu el nombre total de patrons legals que pot haver en una columna.
- (b) Dissenyeu un algorisme $O(n)$ per calcular una configuració de valor màxim.

Ajut: Considereu subproblemes amb les primeres k columnes ($k \leq n$) i un patró prefixat a la columna k .

46. El Rector vol construir el monument a l'alumne sacrificat. Decideix construir al Campus Nord, el monòlit més alt possible de totxo vist. Aconsegueix n tipus diferents de totxos, i de cada tipus una quantitat suficientment gran. Cada totxo de tipus i es pot considerar com un ortoedre amb dimensions $\langle l_i, w_i, h_i \rangle$. Un totxo es pot col·locar en qualsevol de les tres posicions que mantenen les arestes paral·leles als tres eixos fixos. Per a construir el monòlit un totxo es pot col·locar a sobre d'un altre, sols si cada una de les dues arestes de la base del totxo de sobre té longitud estrictament menor que l'aresta que li és paral·lela del totxo de sota. A la base es col·loca un sol totxo. Dissenyeu un algorisme eficient per a determinar el monòlit més alt que el Rector pot construir. Quina és la seva complexitat?
47. Imagina que ets el cap dels serveis informàtics de la FIB, on milers de persones accedeixen cada dia al servidor central. Suposem que tens una estimació $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ del nombre d'usuaris que accediran al servidor

en els propers n dies. El software que controla el servidor no està ben dissenyat i el nombre d'usuaris per dia que pot gestionar decrementa cada dia, a partir del darrer dia en què es va fer *reboot*. Sigui s_i el nombre d'usuaris que el servidor pot gestionar l' i -èsim dia després de la darrera aturada, per tant $s_1 > s_2 > s_3 > \dots s_n$. Assumim que el dia que es fa el reboot, no es pot donar servei a cap usuari. Donada una seqüència de carrega $(x_1, \dots, x_n)$ i de limitacions $(s_1, \dots, s_n)$, dissenyeu un algorisme per a la planificació que especifiqui els dies òptims que s'han de fer els reboots de manera que es maximitze el nombre total de clients als quals el servidor dona servei. Per exemple, si $n = 5$ i $s_1 = 16, s_2 = 8, s_3 = 4, s_4 = 2, s_5 = 1$. Quan $x_1 = 17, x_2 = 9, x_3 = 5, x_4 = 3, x_5 = 2$, la solució òptima és no rebotar i donar servei a 31 clients. Quan $x_1 = 17, x_2 = 9, x_3 = 17, x_4 = 3, x_5 = 17$ la solució òptima és rebotar el segon i quart dies, donant servei a un màxim de 48 clients.

48. La gerenta de la UPC vol donar una festa als PAS de la universitat. Aquest personal té una estructura jeràrquica, en forma d'arbre on la gerenta és l'arrel. L'oficina de personal ha assignat a cada PAS un nombre real que representa el seu grau de *simpatia*. En vista que la festa sigui distesa, la gerenta no vol que cap superior immediat d'una persona convidada, també sigui convidada. Descriviu un algorisme per confeccionar la llista de convidats de manera que es maximitze la suma dels graus de simpatia. Quina és la complexitat del vostre algorisme?. Què hauríeu de fer per assegurar que la gerenta està invitada a la seva pròpia festa?
49. El problema de la *partició lineal* es el següent: Donada una seqüència de n valors positius, $(s_1, \dots, s_n)$ volem obtenir una seqüència de $r + 1$ valors, $i_1, \dots, i_{r+1} \in \{1, \dots, n + 1\}$ tal que $i_1 = 1, i_{r+1} = n + 1$ i $i_j < i_{j+1}$, per $1 \leq j \leq r$. Aquesta successió divideix la seqüència inicial en r rangs. Per cada rang j , $1 \leq j \leq r$, definim $S_j = \sum_{i_j \leq k < i_{j+1}} s_k$. A cada seqüència $i_1, \dots, i_{r+1}$ se li assigna el cost $S(i_1, \dots, i_{r+1}) = \max_{1 \leq j < r} S_j$. Volem obtenir seqüència que proporcioni r rangs amb cost mínim.

Per exemple, si els valors són:

100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900

i $r = 3$, una solució és 1, 4, 7, 10 que té cost 2400, i una solució òptima és 1, 6, 8, 10 amb cost 1700.

Però si els valors són:

1000, 250, 120, 40, 50, 160, 700, 180, 90

i $r = 3$, una solució és 1, 4, 7, 10 que té cost 1370, i una solució òptima és 1, 2, 7, 10 amb cost 1000.

Dissenyau un algorisme basat en programació dinàmica per resoldre el problema. Analitza la complexitat temporal i espacial de l'algorisme proposat.

50. Considerem el problema d'imprimir de manera polida una frase amb una impressora. El text d'entrada és una seqüència de n mots amb longitud $l_1, l_2, \dots, l_n$, on cada longitud ve donada en caràcters. Cada línia pot contenir com a màxim M caràcters. Realitzem la impressió de manera que si una línia conté els mots de i fins a j , on $i \leq j$, i deixem exactament un espai entre mots, aleshores el nombre de caràcters en blanc al final de cada línia és $M - j + i - \sum_{k=i}^j l_k$, que ha de ser no-negatiu. Volem minimitzar la suma, sobre totes les línies excepte la darrera, dels quadrat d'aquestes magnituds. Dissenyeu un algorisme per imprimir de la manera indicada, un paràgraf amb n mots. Analitzeu les complexitats espacials i temporals del vostre algorisme.
51. Un grup d'amics del departament d'astronomia vol observar el cel aquesta nit (que és un dia amb cel ras). Suposem el següent:
- Hi ha n esdeveniments que ocorren en una seqüència de n minuts, on l'esdeveniment j ocorre al minut j . Si no observem el esdeveniment j al minut j , no l'observem mai.
 - Suposem que utilitzem un sistema 1-dimensional per modelitzar el cel (que correspon el grau de l'angle del telescopi); és a dir, l'esdeveniment j té coordenada d_j per $d_j \in \mathbb{Z}$. Al minut 0, la posició del telescopi és 0.
 - L'últim esdeveniment n és més important que els altres; per tant estem obligats a observar l'esdeveniment n .

El telescopi del departament és molt gran i només es pot moure un grau cada minut. Per tant, és possible que no es pugui observar tots els esdeveniments. Un conjunt d'esdeveniments S es diu *observable*, si per a cada $j \in S$, es pot observar l'esdeveniment j al minut j i entre dos elements consecutius j, k de S el telescopi té el temps necessari per bellugar-se (amb velocitat com a màxim 1 per minut) de d_j a d_k . Donats n esdeveniments, i una seqüència $\{d_j\}_{j=1}^n$ que correspon a les coordenades dels esdeveniments, volem trobar el conjunt més gran de tots els esdeveniments observables S amb la condició que $n \in S$.

Exemple: Si tenim $n = 9$ i $d_1 = 1, d_2 = -4, d_3 = -1, d_4 = 4, d_5 = 5, d_6 = -4, d_7 = 6, d_8 = 7, d_9 = -2$, llavors la solució òptima és $S = \{1, 3, 6, 9\}$ (Notem que sense la restricció de que l'esdeveniment 9 ha de ser a S la solució seria $\{1, 4, 5, 7, 8\}$).

- (a) Demostreu mitjançant un contraexemple que l'algorisme següent no funciona correctament:

Marca tots els esdeveniments j amb $|d_n - d_j| > n - j$ com a il·legal (no podem observar aquests esdeveniments, perquè hem d'observar l'esdeveniment n) i tots els altres com a legal

inicialització $p(0) := 0, S := \emptyset$

mentre encara no són a la fi de la seqüència **fer**

busca el primer esdeveniment legal j a partir del moment al qual es pot arribar bellugant el telescopi amb velocitat $\leq 1/\text{minut}$

$S := S \cup \{j\}$

$p(j) := d_j$

fimentre

tornar S .

- (b) Donada una seqüència d'enters $d_1, \dots, d_n$, doneu un algorisme correcte i polinòmic en n per calcular el conjunt observable S més gran (amb la condició que $n \in S$).
52. Us donen una cadena de n caràcters $s[1 \dots n]$, que pot ser un text on totes les separacions entre mots ha desaparegut, per exemple *aquestaesunafrsequepodiaserunexemple*. Volem reconstruir el text original amb ajut d'un diccionari $D(\cdot)$, tal que per a tot mot possible w

$$D(w) = \begin{cases} \text{cert} & \text{si } w \text{ és un mot valid} \\ \text{fals} & \text{altrament} \end{cases}$$

- (a) Doneu un algorisme de programació dinàmica que determine si la cadena $s[\cdot]$ es pot reconstruir com a una seqüència de mots vàlids. Si assumim que les crides a D es poden fer en temps $\Theta(1)$. Quina és la complexitat del vostre algorisme?
- (b) Si la cadena és vàlida, fes que el teu algorisme escrigui la frase correcta, amb separacions entre mots.
53. A la universitat de Kakia, l'equip de govern està molt preocupat per l'efecte que els exàmens produeixen sobre l'estat anímic dels estudiants, per tant han decidit convertir l'edifici que alberga el Centre de Matemàtica utilitzant Neurons (CMN) en un centre d'esplai per als estudiants. EL Personal docent i investigador (PDI) allotjat a l'edifici del CMN, ha decidit defensar-se del desallotjament institucional i tancar-se a l'edifici. Per aconseguir el desallotjament, l'equip de govern vol construir un eixam (swarm) de microrobots que ataquen al PDI a l'edifici fins que marxen. Els microrobots ataquen de la manera següent:

- (a) Durant n segons, un eixam de robots arriba de manera que a l' i -èsim segon, arriben x_i robots. EL PDI del CMN ha col·locat sensors envoltant l'edifici, de manera que poden preveure la seqüència $x_1, x_2, \dots, x_n$ abans que els primers robots arribin.
- (b) El personal del CMN ha desenvolupat un polsador electromagnètic que pot destruir alguns dels robots quan arriben, el nombre de robots que destrueixen depèn del nivell de càrrega que tingui el polsador. Formalment, existeix una funció f tal que si han transcorregut j segons des de la darrera vegada que es va utilitzar el polsador, es destrueixen $f(j)$ robots. Per tant, si utilitzem el polsador al k -èsim segon, quan feia j segons que s'havia utilitzat, el nombre de robots que destruiran serà $\min(x_k, f(j))$, i s'esgotarà la càrrega del polsador.

- (c) Al començament el polsador està totalment descarregat, per tant si el polsador s'utilitza per primer cop al j -èsim segon, pot destruir $f(j)$ robots.

Donada la informació $x_1, x_2, \dots, x_n$ y donada la funció f , volem escollir els moments en què haurem d'utilitzar el polsador per a destruir el màxim nombre possible de robots. Per exemple, si $n = 4$, $x_1 = 1, x_2 = 10, x_3 = 10, x_4 = 1$ i $f(1) = 1, f(2) = 2, f(3) = 4, f(4) = 8$ aleshores la millor solució és activar el polsador al 3er i 4rt segon, al 3er segon destrueix 4 robots i al 4rt segon destrueix 1 robot (per la càrrega). En total es poden destruir 5 robots.

Dissenyeu un algorisme eficient tal que donats $x_1, x_2, \dots, x_n$ i f , retorni la seqüència de pulsacions que maximitzi el nombre de robots destruïts.

54. Els professors Maria Serna i Jordi Petit volen resoldre el següent problema: Tenen una xarxa de sensors organitzada en forma d'arbre, on els sensors ocupen els nusos. La major part del temps els sensors estan en un estat letàrgic (de mínim consum d'energia) fins que un sensor que actua com autoritat central, situat a l'arrel de l'arbre, decideix que alguna cosa importat succeeix i *desperta* la resta dels sensors. Aquest procés de despertar els sensors requereix un cert temps ja que en una unitat de temps un sensor pot despertar únicament un dels seus fills (a l'arbre). Òbviament, el temps total per a despertar tots els sensors depèn de l'ordre en què cada sensor desperti els seus fills. Dissenyeu un algorisme eficient que determine una ordenació dels fills de cada nus de l'arbre proporcionant el temps mínim per despertar a tots els sensors.
55. (**L'alineament de seqüències**). Quan es descobreix un nou gen, una manera estàndard de descobrir la seva funció és mirar a una base de dades de gens que ja s'han estudiat molt i per als què es coneix perfectament el què fan, i trobar coincidències el més ajustades que sigui possible entre el nou gen i algun dels gens coneguts. La proximitat de dos gens es mesura pel grau d'alineació. Per formalitzar això en termes computacionals, podem pensar que un gen és una cadena sobre un alfabet $\Sigma = \{A, G, C, T\}$. Considerem dos gens $x = ATGCC$ i $y = TACGCA$, una alineació de x i y és una manera de fer coincidir aquestes dues cadenes escrivint-los en columnes, per exemple:

—	A	T	G	C	—
T	A	C	G	C	A

on el caràcter — denota un forat o una no-coincidència. Els caràcters a cada cadena han d'aparèixer en ordre, i cada columna han de contenir un caràcter d'almenys d'una de les cadenes.

La qualitat d'una alineació s'especifica utilitzant una matriu de puntuació δ amb dimensió 5×5 . A l'exemple previ, l'alineació té una puntuació

resultant de:

$$\delta(-, T) + \delta(A, A) + \delta(T, C) + \delta(G, G) + \delta(C, C) + \delta(-, A).$$

L'elecció dels valors de δ no és senzilla i depèn de l'aplicació concreta. N'exemple de matriu de puntuacions és següent:

$$\begin{array}{ccccc} & A & T & C & G & - \\ \begin{pmatrix} +1 & -1 & -1 & -1 & 0 \\ -1 & +1 & -1 & -1 & 0 \\ -1 & -1 & +1 & -1 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & +1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & A & T & C & G & - \end{array}$$

Segons aquesta matriu de puntuació l'alineació proposta tindria una puntuació de 2.

Doneu un algorisme que prengui com a entrada dues cadenes X i Y d'ADN, amb longitud n i m respectivament ($X[1, \dots, n], Y[1, \dots, m]$) i una matriu de puntuació δ , i retorni l'alineació amb puntuació més alta. El temps d'execució del vostre algorisme ha de ser $O(mn)$.

56. Donada una cadena $x \in \{0, 1\}^n$, escrivim x^k per a representar x còpies de x concatenades (una darrera l'altra) Direm que una cadena x' és una repetició de x si existeix un $k \in \mathbb{N}$ tal que x' és un prefix de x^k (per ex. $x' = 10110110110$ és una repetició de $x = 101$).

Diem que una cadena s és una *trena* de x i y si podem particionar els símbols de s en dues subsequències s' i s'' , no necessàriament contigües, de manera que s' és una repetició de x i s'' és una repetició de y . Es a dir, cada símbol de s ha de ser a s' o a s'' . Per exemple, si $x = 101$, $y = 00$, i $s = 100010101$. s és una treina de x i y , ja que els símbols a les posicions 1,2,5,7,8,9 (=101101) són un repetició de x , i la resta dels símbols formen 000 que és una repetició de y .

Doneu un algorisme eficient tal que donats x, y i s decideixi si s és una treina de x i y .

Una Solució:

Primer de tot establim notació i definicions auxiliars.

Si $w = w_1 \dots w_n$, $w[k]$, per $1 \leq k \leq n$, és la subcadena formada per els primers k caràcters de s .

$t[w, i] = w^i[i]$ és el prefix de longitud i de w^i

Utilitzarem V per a representar "cert".

Sigui $x = x_1 x_2 \dots x_p$, $y = y_1 y_2 \dots y_q$ i $s = s_1 s_2 \dots s_n$ una entrada del problema a resoldre.

Per a establir una recurrència que ens permeti resoldre'l considerarem un problema auxiliar que resoldrem recursivament. Aux: determinar si la subcadena $s[k]$, $1 \leq k \leq n$, és una trena de $t[x, i]$ i $t[y, j]$ per a tots els valors possibles de i, j, k on $k = i + j$.

Volem calcular una taula $C(i, j)$, $i + j \leq n$, tal que $C(i, j) = V$ sii $s[i + j]$ és una trena de $t[x, i]$ y $t[y, j]$.

Aquesta condició és equivalent a dir que $s[i + j]$ es pot dividir en s' ($|s'| = i$) una repetició de x i s'' ($|s''| = j$) una repetició de y .

Observem que quan la descomposició és possible l'últim caràcter de $s[i + j]$ ha de coincidir amb l'últim caràcter de $t[x, i]$ o de $t[y, j]$ (o amb els dos). En cas contrari la descomposició no és possible. Al primer cas, $s_{i+j} = x_{i'}$, per $i' = i \bmod p$ i tenim, a més, què $[s[i + j - 1]]$ ha de ser una trena de $t[x, i - 1]$ i $t[y, j]$. Al segon cas, $s_{i+j} = y_{j'}$, per $j' = j \bmod q$ i tenim què $[s[i + j - 1]]$ ha de ser una trena de $t[x, i]$ i $t[y, j - 1]$.

Aquesta observació sobre suboptimalitat de les solucions ens porta a la recurrència:

$$C(i, j) = [(s_{i+j} = x_{i \bmod p}) \vee C(i-1, j)] \wedge [(s_{i+j} = y_{j \bmod q}) \vee C(i, j-1)],$$

amb $C(0, 0) = V$; per $j \in [n]$, $C(0, j) = V$ sii $s_1 s_2 \dots s_j$ és una repetició de y ; per $i \in [n]$, $C(i, 0) = V$ sii $s_1 s_2 \dots s_i$ és una repetició de x .

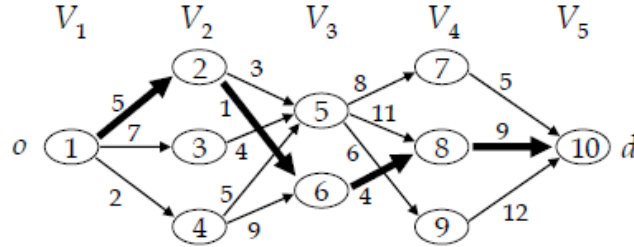
La resposta final de l'algorisme és $\bigvee_{i+j=n, i \bmod p=0, j \bmod q=0} C(i, j)$.

El temps total per implementar aquest algorisme recursiu amb un esquema de PD és $O(n^2)$ ja que el cost per element és constant.

Per finalitzar s'ha de fer un recorregut de la diagonal amb suma n de la matriu C acumulant els valors de les posicions que ens interessin. Això ens dona un temps addicional de $O(n)$.

Per tant el cost total és $O(n^2)$ i fem servir espai $O(n^2)$.

57. Camí més curt en DAG multi-etapa. Un graf dirigit acíclic (DAG) $G = (V, E)$ és multi-etapa quan els vèrtexs es poden dividir en k subconjunts $V = V_1 \cup V_2 \cup \dots \cup V_k$ tal que cada arc va des d'un subconjunt V_i al següent V_{i+1} . A més, el primer i últim subconjunt contenen exactament un vèrtex cadascun (és a dir, $V_1 = \{o\}$ i $V_k = \{d\}$ als que direm font i embornal, respectivament). A la figura següent teniu un exemple de DAG multi-etapa ponderat.



Dissenyeu un algorisme que calculi el camí més curt a partir de o a d en un DAG multi-etapa ponderat.

58. Un palíndrom és un mot $w_1w_2 \dots w_k$ tal que $w_kw_{k-1} \dots w_1$ és el mateix mot. Per exemple *senentesisenensisetnenes*. Donada una cadena $A = a_1a_2a_3 \dots a_n$ direm que A té una partició en forma de palíndroms si cada subcadena de la partició és un palíndrom. Per exemple, si $A = ababbbabbababa$ tenen particions $aba|b|bbabb|a|b|aba$ i $aba|bbb|abba|baba$ en forma de palíndroms. Dissenyeu un algorisme amb complexitat $O(n^3)$ tal que donada una cadena A de talla n , produeixi la partició en forma de palíndroms amb el **mínim nombre de talls**. Podeu dissenyar un algorisme amb complexitat $O(n^2)$? Noteu que si A es un palíndrom no hi haurà cap partició.

59. Considerem una xarxa d'agents mòbils, connectats per radiofreqüència, que tenen una distància curta de comunicació r . Aquestes xarxes es poden representar per un tipus especial de grafs anomenats *random geometric graphs* on els agents venen representats per nodes, i dos agents x i y estan connectats si x cau dintre del cercle amb centre y i radi r . Aquest tipus de xarxes són dinàmiques, per tant en l'instant t pot haver-hi una aresta (x, y) , i en l'instant $t + 1$, l'aresta pot deixar d'existir (cada agent pot sortir en direccions contràries). Volem dissenyar un sistema eficient, per mantenir un camí de connectivitat entre dos agents especificats. Volem que el camí sigui curt, però volem que aquest camí no canviï encara que el graf perdi i guanyi arestes. Sigui V el conjunt de nodes que representen els agents, i en l'instant t sigui E_t el conjunt d'arestes. Per tant, als instants $t = 0, 1, \dots, m$ les arestes evolucionen $E_0, E_1, \dots, E_m$, cosa que a cada t ens dona un graf $G_t = (V, E_t)$. La xarxa d'agents té una representació temporal com una seqüència $\{G_i\}_t$ de grafs, sobre el mateix conjunt V de nodes. Assumim que cada G_i és connex.

Considerem dos nodes particulars $s, t \in V$. Sigui P_i un camí mínim de s a t a G_i , i sigui $|P_i|$ la seva longitud (nombre d'arestes). Volem tenir una seqüència de camins $P_0, P_1, P_2, \dots, P_m$ un camí mínim per a cada G_i . A més, si definim el nombre de canvis $c(P_1, P_2, \dots, P_m)$ a la seqüència com el nombre de índexs i , $(1 \leq i \leq m - 1)$ per als quals $P_i \neq P_{i+1}$, volem

minimitzar aquest nombre de canvis, ja que a cada canvi, tindrem un cost extra k .

Sigui k una constant donada, definim el *cost* de $P_0, P_1, P_2, \dots, P_m$ com

$$CT(P_0, P_1, P_2, \dots, P_m) = \sum_{i=1}^m |P_i| + k \cdot c(P_1, P_2, \dots, P_m).$$

- (a) Suposeu que existeix un únic camí P , que és el mateix camí entre s i t a $G_0, G_1, G_2, \dots, G_m$. Doneu un algorisme polinòmic per a trobar-lo.
 - (b) Doneu un algorisme polinòmic per a trobar una seqüència de camins $P_0, \dots, P_m$ amb cost mínim, on P_i és un camí mínim de s a t .
60. Ara que a Catalunya les eleccions s'apropen, hi ha maneres d'agrupar els districtes electorals en circumscripcions electorals de manera molt acurada per tal d'arribar a resultats que afavoreixin a un partit polític en particular. Aquesta "tècnica" rep el nom de *gerrymandering* als USA i es pot traduir com *districtació*.

Gràcies al software disponible, la *districtació* ha canviat de ser una activitat portada a terme per un grup de gent amb mapes, llapis i paper a ser un procés automàtic. Actualment, la *districtació* no és més que un problema computacional (a més de ser molt susceptible al frau electoral). Es tenen bases de dades molt acurades per al seguiment demogràfic dels possibles votants, que arriben a poder conèixer el perfil de votant fins a nivell de carrer i fins i tot de vivendes. Aquestes dades es poden processar amb ordinadors per agrupar els votants en demarcacions "apropiades" als interessos del partit.

Suposem que tenim un conjunt de n districtes $D_1, D_2, \dots, D_n$, cadascun amb m votants. Se suposa que aquests n districtes es reagrupen en dos circumscripcions, i que cadascuna aglutina $n/2$ districtes. Per a cada districte tenim informació sobre quants electors votaran a cada partit (per a simplificar, suposem que només tenim dos partits R i P). Es diu que $D_1, D_2, \dots, D_n$ és *susceptible de frau electoral* si és possible realitzar la divisió en dos circumscripcions de tal manera que el mateix partit s'assegura la majoria en les dos circumscripcions.

Doneu un algorisme per determinar si un determinat conjunt de districtes és *susceptible de frau electoral*. Doneu el temps d'execució del vostre algorisme, que ha de ser polinòmic en n i m .

Exemple: Suposem que tenim $m = 400$ votants, $n = 4$ districtes i la informació següent sobre els votants: sigui P_i (R_i , respectivament) el nombre de votants del partit P (R) al districte i . Si $P_1 = 55$, $R_1 = 45$, $P_2 = 43$, $R_2 = 57$, $P_3 = 60$, $R_3 = 40$, $P_4 = 47$, $R_4 = 53$, és possible repartir els districtes de manera que el partit P tingui la majoria en les dues circumscripcions: simplement agrupem els districtes D_1 i D_4 que formen la circumscripció C_1 , i agrupem els districtes D_2 i D_3 en la circumscripció

C_2 . Per tant, aquest conjunt de districtes és susceptible de fraud. I malgrat que P té en la població total una escassa majoria de 205 contra 195, acaba guanyant en les dues circumscripcions C_1 i C_2 .
Noteu, que si $P_1 = 90$, $R_1 = 10$, $P_2 = 45$, $R_2 = 55$, $P_3 = 45$, $R_3 = 55$, $P_4 = 45$, $R_4 = 55$, aquest conjunt de districtes no és susceptible de frau electoral.