Algoritmo para encontrar rutas óptimas para vehículos eléctricos

Tomas Atehortua Ceferino Universidad Eafit Colombia tatehortuc@eafit.edu.co	Mauricio Toro Universidad Eafit Colombia mtorobe@eafit.edu.co

NOTA DEL DOCENTE: Para ampliar información sobre los requerimientos aquí descritos, consulten la "*Guía para la realización del Proyecto Final de Estructura de Datos 2*" que se entrega. Al final: 1. Borrar este texto escrito en rojo, 2. Adecuar los espacios de los textos, 3. Cambiar el color de los textos a negro. Consideren además que:

Textos en negro = Es todo lo que deben hacer en la entrega 1

Textos en Verde = Es todo lo que deben hacer en la Entrega 2

Textos en violeta = Es todo lo que deben hacer en la entrega 3

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es diseñar un algoritmo que encuentre rutas óptimas a los vehículos eléctricos, en este caso específico para hacer más eficiente la forma de distribuir mercancías. Esto con el fin de solucionar el problema que se presenta en las baterías de los coches por tener un rango de durabilidad limitado y un tiempo de carga muy largo.¿Cuál es la solución?, ¿cuáles los resultados? y, ¿Cuáles las conclusiones? Utilizar máximo 200 palabras.

Palabras clave

Optimización - Grafos - Vehículos eléctricos – Rutas - Algoritmo

Palabras clave de la clasificación de la ACM

Theory of computation → Design and analysis of algorithms → Graph algorithms analysis → Shortest paths

Theory of computation → Design and analysis → Approximation algorithms analysis → Routing and network design problems.

Applied computing → Operations research → Trasnportation.

1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente informe se pretende solucionar la problemática que tienen las empresas a la hora de entregar productos con camiones de carga eléctricos, para que puedan entregarlos de la manera más eficiente, teniendo en cuenta las horas de trabajo, número de autos y la vida útil de los Batería de coche. Resolver este problema permitiría mejorar las entregas y asegurar que las empresas utilizarán coches eléctricos, incluso con la necesidad de cargarlos, permitiendo una reducción de las emisiones de carbono que liberan estos camiones de carga.

2. PROBLEMA

El problema radica en la baja eficiencia que tienen las baterías de los autos eléctricos para distribuir la mercadería, pues demoran mucho en hacer los recorridos debido a que la batería se descarga constantemente. Esto tiene un alto impacto en la sociedad porque si no se soluciona, los transportistas se verían obligados a utilizar otros vehículos más dañinos para el planeta, por eso para evitar que eso suceda es necesario solucionar este problema.**3. TRABAJOS RELACIONADOS**

3.1 The Traveler Salesman Problem

Propuesta por William Hamilton y Thomas Kirkman, consiste en buscar el mejor camino que se pueda realizar en un conjunto de n nodos, pasando solo una vez por cada nodo hasta volver al primero. A lo largo de los años se han propuesto varias soluciones a este problema de optimización. Uno de ellos es el algoritmo de Christofides, que consiste en elegir y reemplazar aristas para mantener menos distancia. Es un algoritmo heurístico ya que su funcionamiento busca una ruta aproximada con los pesos que se plantean en los datos [1].

3.2 Vehicle Routing Problem (VRP)

El VRP es la distribución del Problema del vendedor viajero a diferentes vehículos. "Decide qué vehículo maneja qué solicitud en qué secuencia para que todas las rutas del vehículo puedan ejecutarse de manera factible" [2]. En este caso, una solución viable es el algoritmo de ahorro de Clark y Wright, que consiste en combinar dos rutas posibles, tomando los ahorros que se producen de cada una. Así, de forma aproximada, es posible atribuir el mejor recorrido para cada vehículo.

3.3 Electric Vehicle Routing Problem (E-VRP)

"A medida que las corporaciones se vuelven más conscientes del medio ambiente y los costos de externalidad asociados, los vehículos comerciales eléctricos están ganando terreno en las empresas que entregan productos" [3]. Bajo esta premisa, se creó una variante del problema de enrutamiento de vehículos, el E-VRP, que se enfoca en encontrar una estrategia de enrutamiento óptima con un costo mínimo de tiempo de viaje. costo de energía y vehículos eléctricos despachados. Hacer un enfoque heurístico como un algoritmo inspirado en una búsqueda aleatoria o una solución

de programación dinámica como Held Karp (con limitaciones de recursos) podría ser la mejor manera de abordar el EVRP.

3.4 Sequential Ordering Problem (SOP)

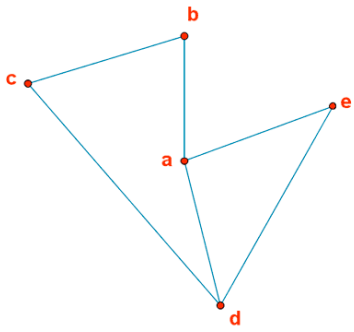
Es una variante del TSP donde existen condiciones de precedencia. Eso quiere decir que hay ciertos nodos que se deben visitar antes que otros, por lo tanto, la ruta óptima puede no ser la correcta. Carina Vega (2014) utilizó el algoritmo SOP 3 Exchange para resolver este problema [4]. Este algoritmo tiene 2 componentes. El primero supervisa comprobar la infracción de una precedencia mientras que los demás cambian de eje. Al cambiar de eje conservando carreteras se obtiene de forma heurística una ruta que reúne todos los requisitos.

4. TÍTULO DE LA PRIMERA SOLUCIÖN DISEÑADA

A continuación, explicamos la estructura de datos y el algoritmo.

4.1 Estructura de datos

Diseñen la estructura de datos para resolver el problema y grafíquenla. No usar gráficas extraídas de internet



	a	b	c	d	e
a	0	1	0	1	1
b	1	0	1	0	0
c	0	1	0	1	0
d	1	0	1	0	1
e	1	0	0	1	0

Gráfica 1: Grafo representado como una matriz de adyacencia

4.2 Operaciones de la estructura de datos

Buscar vértices:

	0	1	2	3
0	-1	2	3	-1
1	6	-1	3	-1
2	-1	3	-1	5
3	4	6	2	-1

Gráfica 2: Dados dos nodos, retornar el vértice (peso), que hay entre los dos nodos, En este caso los que están de color amarillo corresponden al peso que hay para ir de un nodo al otro.

Buscar los vecinos:

	0	1	2	3
0	-1	2	3	-1
1	6	-1	3	-1
2	-1	3	-1	5
3	4	6	2	-1

Gráfica 3: Desde un nodo inicial encontrar todos los nodos a los que se pueden llegar, en este caso para el nodo 0 los vecinos son el 1 y el 2.

Buscar el vecino más cercano:

	0	1	2	3
0	-1	2	3	-1
1	6	-1	3	-1
2	-1	3	-1	5
3	4	6	2	-1

Gráfica 4: De todos los notos a los que se puede llegar, retornar el que tiene el menor peso (el que está más cerca), en este caso para el nodo 0 el vecino más cercano es el 1.

4.3 Criterios de diseño de la estructura de datos

Elegí representar el grafo con una matriz de adyacencia debido a que su complejidad en el acceso a los datos es de O(1). Con esta complejidad el algoritmo se hace mucho más eficiente a la hora de realizar las operaciones que requieren acceder a los pesos de las aristas de nuestro grafo. Además, teniendo en cuenta que los datasets van desde 320 hasta 360 nodos, la cantidad de memoria que se utiliza en esta matriz no es exorbitante comparada con la eficiencia en tiempo que ganamos.

4.4 Análisis de Complejidad

La complejidad de los métodos es la siguiente, en la cual n y N corresponden a:

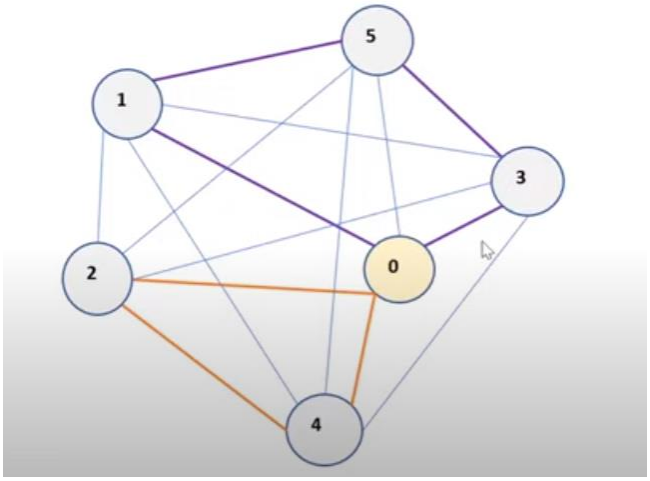
N: numero de vecinos que no han sido visitados

n: número de nodos

Método	**Complejidad**
Buscar un vertice	O(1)
Buscar los vecinos	O(n)
Buscar el vecino más cercano	O(N)

Tabla 1: Tabla para reportar la complejidad

4.5 Algoritmo de Clarke-Wright



Gráfica 3: Ejemplo de los caminos (ahorros) que son encontrados por el algoritmo de Clarke-Wright

4.6 Cálculo de la complejidad del algoritmo

La complejidad del algoritmo para el peor de los casos, el mejor de los casos y el caso promedio

Sub problema	Complejidad
Determinar si un nodo se puede visitar	O(n)
Calcular el camino para cada vehiculo	O(n^2)
Incluir un nodo en un camino	O(1)
Encontrar los ahorros	O(n^2)

Tabla 2: complejidad de cada uno de los subproblemas que compoenne el algoritmo. n es la cantidad de nodos del dataset,

4.7 Criterios de diseño del algoritmo

El algoritmo que se implementó se basó en el algoritmo de Clarke-Wright. La idea principal es determinar la posibilidad de fusionar dos caminos en un solo camino, luego de calcular cuánto tiempo se puede ahorrar. El algoritmo es beneficioso para resolver problemas en los que el número de vehículos no es fijo. En este caso, se procura encontrar una ruta eficiente con limitaciones de tiempo y batería. A pesar de ser un algoritmo heurístico que no asegura la mejor solución, es eficiente para resolver el problema sin hacer un muy largo tiempo de respuesta.

4.8 Tiempos de Ejecución

Calculen, (I) El tiempo de ejecución que consume el programa para varios ejemplos de dataset es el siguiente:

	Conjunto de Datos 1	***Conjunto de Datos 2***	***Conjunto de Datos 3***
Mejor caso	4 sg	3 sg	7 sg
Caso promedio	12 sg	10 sg	13 sg
Peor caso	30 sg	19 sg	25 sg

Tabla 3: Tiempos de ejecución del algoritmo con diferentes conjuntos de datos

4.9 Memoria

La memoria que consume el programa para varios ejemplos de dataset es el siguiente:

	Conjunto de Datos 1	***Conjunto de Datos 2***	***Conjunto de Datos 3***
Consumo de memoria	0,74 MB	0,83MB	0,84 MB

Tabla 4: Consumo de memoria del algoritmo con diferentes conjuntos de datos

4.10 Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Dataset	**Tiempo de ejecución**	**Numero de clientes**	**Numero de vehiculos**	**Total tiempo de la ruta**
1	14 s	320	33	2.1500 h
2	9 s	320	27	1,5995h
3	11 s	320	29	1,9882h
4	12 s	320	33	2,6587h

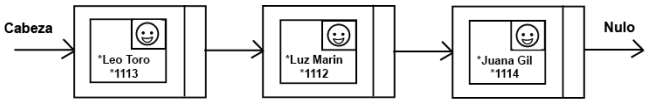
Tabla 5: Análisis de los resultados obtenidos con la implementación del algoritmo

5. TÍTULO DE LA SOLUCIÓN FINAL DISEÑADA

A continuación, explicamos la estructura de datos y el algoritmo.

5.1 Estructura de datos

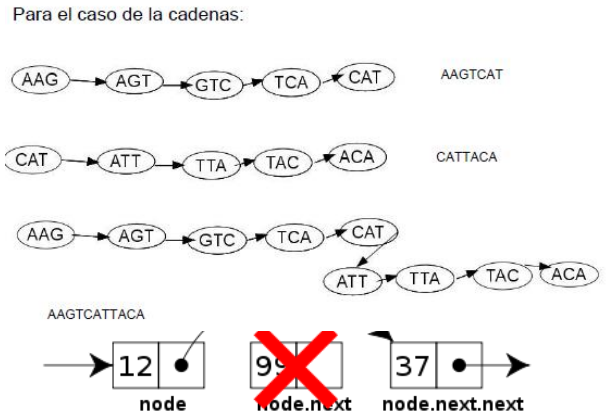
Diseñen la estructura de datos para resolver el problema y grafíquenla. No usar gráficas extraídas de internet



Gráfica 4: Lista simplemente encadenada de personas. Una persona es una clase que contiene nombre, cédula y foto

5.2 Operaciones de la estructura de datos

Diseñen las operaciones de la estructura de datos para



solucionar el problema eficientemente. Incluyan una imagen explicando cada operación

Gráfica 5: Imagen de una operación de borrado de una lista encadenada

5.3 Criterios de diseño de la estructura de datos

Expliquen con criterios objetivos, por qué diseñaron así la estructura de datos. Criterios objetivos son, por ejemplo, la eficiencia en tiempo y memoria. Criterios no objetivos y que rebajan la nota son: "me enfermé", "fue la primera que encontré", "la hice el último día", etc. Recuerden: este es el numeral que más vale en la evaluación con 40%

5.4 Análisis de Complejidad

Calculen la complejidad de las operaciones de la estructura de datos para el peor de los casos. Vean un ejemplo para reportarla:

Método	Complejidad
Búsqueda Fonética	O(1)
Imprimir búsqueda fonètica	O(m)
Insertar palabra busqueda fonètica	O(1)
Búsqueda autocompletado	O(s + t)
Insertar palabra en TrieHash	O(s)
Añadir búsqueda	O(s)

Tabla 6: Tabla para reportar la complejidad

5.5 Algoritmo

Diseñen el algoritmo para resolver el problema y grafíquenlo. No usen gráficas extraídas de internet

Gráfica 6: Paso a paso cómo se ensamblan fragmentos de ADN utilizando los grafos de *Bruijn*.

5.6 Cálculo de la complejidad del algoritmo

Calculen la complejidad del algoritmo para el peor de los casos, el mejor de los casos y el caso promedio

Sub problema	Complejidad
Crear el grafo de *Bruijn* con las secuencias	O(N)
Actualizar el grafo de *Bruijn* con las secuencias	$O(A.N^2)$
Encontrar los genes	O(V)
Complejidad Total	$O(A.N^2 + V)$

Tabla 7: complejidad de cada uno de los sub problemas que componen el algoritmo. Sea A la longitud de una secuencia de ADN, N el número de secuencias de ADN, y V el número de K-meros diferentes que se obtienen de las secuencias de ADN.

5.7 Criterios de diseño del algoritmo

Expliquen por qué diseñaron así el algoritmo. Usen criterios objetivos. Criterios objetivos son, por ejemplo, la eficiencia en tiempo y memoria. Criterios no objetivos y que rebajan la nota son: “me enfermé”, “fue la primera que encontré”, “la hice el último día”, etc. Recuerden: este es el numeral que más vale en la evaluación con 40%

.

5.8 Tiempos de Ejecución

Calculen, (I) el tiempo de ejecución y (II) la memoria usada del algoritmo, para el Conjunto de Datos que está en el ZIP:

Tomen 100 veces el tiempo de ejecución y memoria de ejecución, para cada conjunto de datos

	Conjunto de Datos 1	***Conjunto de Datos 2***	***...Conjunto de Datos n***
Mejor caso	10 sg	20 sg	5 sg
Caso promedio	12 sg	10 sg	35 sg
Peor caso	15 sg	21 sg	35 sg

Tabla 8: Tiempos de ejecución del algoritmo con diferentes conjuntos de datos

Para medir la memoria que consume un programa, se utilizan generadores de perfiles (en Inglés, profilers). Uno muy bueno para Java es VisualVM, desarrollado por Oracle,http://docs.oracle.com/javase/7/docs/technotes/guides/visualvm/profiler.html No dejen de usarlo en sus proyectos y en la vida. Para usarlo hay que generar un .jar que es como un ejecutable de Java. En Netbeans "martillo con escoba" y en BlueJ "archivo, generar .jar".

5.9 Memoria

Mencionar la memoria que consume el programa para varios ejemplos

	Conjunto de Datos 1	***Conjunto de Datos 2***	***...Conjunto de Datos n***
Consumo de memoria	10 MB	20 MB	5 MB

Tabla 9: Consumo de memoria del algoritmo con diferentes conjuntos de datos

5.10 Análisis de los resultados

Expliquen los resultados obtenidos. Hagan una gráfica con los datos obtenidos, como por ejemplo:

Tabla de valores durante la ejecución

Estructuras de autocompletado	LinkedList	Arrays	HashMap
Espacio en el Heap	60MB	175MB	384MB
Tiempo creación	1.16 - 1.34 s	0.82 - 1.1 s	2.23 - 2.6 s
Tiempo búsqueda ("a")	0.31 - 0.39 s	0.37 - 0.7 s	0.22 - 0.28 s
Tiempo búsqueda ("zyzzyvas")	0.088 ms	0.038 ms	0.06 ms
Búsqueda ("aerobacteriologically")	0.077 ms	0.041 ms	0.058 ms
Tiempo búsqueda todas las palabras	6.1 - 8.02 s	4.07 - 5.19 s	4.79 - 5.8 s

Tabla 10: Análisis de los resultados obtenidos con la implementación del algoritmo

6. CONCLUSIONES

Para escribirlas, procedan de la siguiente forma: 1. En un párrafo escriban un resumen de lo más importante que hablaron en el reporte. 2. En otro expliquen los resultados más importantes, por ejemplo, los que se obtuvieron con la solución final. 3.Luego, comparen la primera solución que hicieron con los trabajos relacionados y la solución final. 4. Por último, expliquen los trabajos futuros para una posible continuación de este Proyecto. Aquí también pueden mencionar los problemas que tuvieron durante el desarrollo del proyecto

6.1 Trabajos futuros

Respondan ¿Qué les gustaría mejorar en el futuro? ¿Qué les gustaría mejor al algoritmo, estructura de datos, implementación?

AGRADECIMIENTOS

Identifiquen el tipo de agradecimiento que van a escribir: para una persona o para una institución. Luego, escríbanlo de acuerdo al idioma y tengan en cuenta que: 1. El nombre del docente no va porque él es autor. 2. Tampoco sitios de internet ni autores de artículo leídos con quienes no se han contactado. 3. Los nombres que sí van son quienes ayudaron, compañeros del curso o docentes de otros cursos.

Aquí un ejemplo en inglés: This research was supported/partially supported by [Name of Foundation, Grant maker, Donor].

We thank for assistance with [particular technique, methodology] to [Name Surname, position, institution name] for comments that greatly improved the manuscript.

REFERENCIAS

[1] Bernal, J., Hontoria, E. and Alekvsovski, D., 2015. El problema del viajante de comercio: Búsqueda de soluciones y herramientas asequibles. ASEPUMA, 16(2), pp.117-133.

[2] Irnich, S., Toth, P., and Vigo, D., 2014. Vehicle Routing Problems, Methods, and Applications. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.

[3] Jane Lin, Wei Zhou, Ouri Wolfson, Electric Vehicle Routing Problem, Transportation Research Procedia, Volume 12, 2016, 508-521, https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.007.

[4] Vega, C., 2014. BRKGA para el Problema de Ordenamiento Secuencial. [online] Buenos Aires. Available at: <http://dc.sigedep.exactas.uba.ar/media/academic/grade/thesis/vega.pdf> [Accessed 21 February 2021].