

SOFTWARE · UFC · TEORIA DOS GRAFOS E ALGORITMOS · 16 DE JUNHO DE 2026

Minimum cost flow decomposition on arc-coloured networks

Por C. Carvalho, Jonas Costa, Ana Karolinnna Maia e Cláudia Linhares Sales

Fonte: OpenAlex · UFC · [Publicação original](#)

INOVAÇÃO	APLICABILIDADE	POTENCIAL ECONÔMICO	MATURIDADE
9/10	5/10	7/10	Baixa

Estudo teórico avançado sobre decomposição de fluxos em redes coloridas, estabelecendo limites de complexidade computacional para minimização de custos baseados na diversidade de atributos (cores) nos caminhos de rede.

NÚCLEO DA ANÁLISE

Ideia de startup ou produto

Spin-off de otimização algorítmica focada em SaaS para logística urbana, aplicando os métodos polinomiais (2 cores) para rotas que unificam dois tipos principais de veículos/entregas, reduzindo custos de fragmentação.

Aplicações práticas

Roteamento em redes de telecomunicações minimizando handovers; logística de cadeias de suprimentos multimodais (reduzindo trocas de modal); alocação de recursos em redes SDN.

Potencial de mercado

Médio a Alto para nichos de Logística 4.0 e Telecomunicações que necessitam processar fluxos massivos com restrições de atributos, apesar da dificuldade de implementação geral.

FUNDAMENTO CIENTÍFICO

Problema abordado

A dificuldade computacional de decompor fluxos em redes para minimizar custos, onde o custo é definido pela diversidade de cores (atributos) utilizada em cada caminho, crucial para otimização de redes complexas.

Metodologia

Análise de complexidade computacional (NP-Hard vs. Tempo Polinomial) através de reduções matemáticas e demonstrações formais para diferentes configurações de fluxo (lambda-uniformes e gerais) e quantidade de cores.

Principais descobertas

O problema é intratável (NP-Hard) para fluxos gerais e para redes com 3 ou mais cores. É solúvel em tempo polinomial apenas no caso restrito de fluxos lambda-uniformes com máximo de 2 cores.

LEITURA PARA GESTÃO PÚBLICA

Otimização de redes de transporte público bipartidas (ex: Ônibus + Metrô/VLT) para criar rotas que minimizem a fragmentação do serviço ('cores'), melhorando a eficiência da mobilidade urbana.

PARCERIA UNIVERSIDADE × EMPRESA

Cooperação com o Padetec para desenvolver bibliotecas de otimização de grafos voltadas ao setor industrial e de telecomunicações, transformando o know-how teórico em componentes de software.

OPORTUNIDADES DERIVADAS

4 direções estratégicas identificadas

STARTUP · IMPACTO MÉDIO · CIÊNCIA DE DADOS

OptiRoute Multi-Color

Startup de Deep Tech focada em soluções de roteamento para operadores logísticos que operam com dois modais principais, utilizando algoritmos exatos de tempo polinomial para garantia de eficiência.

POLÍTICA PÚBLICA · IMPACTO MÉDIO · GOVTECH

Mobilidade Integrada Ceará

Projeto piloto de política pública para redesenhar as linhas de integração de transporte em Fortaleza, focado em minimizar a heterogeneidade de operadoras por viagem.

PARCERIA · IMPACTO ALTO · TELECOM

Laboratório de Grafos e Otimização

Parceria UFC-Empresas de Telecom para validar modelos teóricos de decomposição de fluxo em cenários reais de roteamento de pacotes com prioridades (cores).

PRODUTO CORPORATIVO · IMPACTO BAIXO · SOFTWARE

Módulo de Fluxo Uniforme para ERPs

Incorporação de algoritmos de decomposição de custo mínimo em softwares de gestão empresarial para otimizar o fluxo de materiais entre fábricas e centros de distribuição.

ABSTRACT ORIGINAL

A network N is formed by a (multi)digraph D together with a capacity function $u : A(D) \rightarrow \mathbb{R}^+$, and it is denoted by $N = (D, u)$. A flow on N is a function $x : A(D) \rightarrow \mathbb{R}^+$ such that $x(a) \leq u(a)$ for all $a \in A(D)$, and it is said to be k -splittable if it can be decomposed into up to k paths. We say that a flow is λ -uniform if its value on each arc of the network with positive flow value is exactly λ , for some $\lambda \in \mathbb{R}^+$. We consider the problem of decomposing a flow over an arc-coloured network with minimum cost, that is, with minimum sum of the cost of its paths, where the cost of each path is given by its number of colours. We show that this problem is NP-Hard for general flows on networks. When we restrict the problem to λ -uniform flows, we show that it can be solved in polynomial time for networks with at most two colours. Moreover, we prove that it is NP-Hard for general networks with three colours and for acyclic networks with at least five colours.

MATÉRIA PARA LEIGOS

Para leigos: O desafio matemático de separar fluxos em redes coloridas

O cenário atual

Muitos sistemas essenciais funcionam como redes: estradas, tubulações, linhas de transmissão de dados ou cadeias de suprimentos. Na matemática, esses sistemas são modelados como grafos onde as conexões têm capacidades limitadas. O desafio prático é often gerir o "fluxo" que passa por essas conexões de forma eficiente.

O que os pesquisadores fizeram

Os autores deste estudo da Universidade Federal do Ceará (UFC) investigaram um problema específico de otimização: a decomposição de fluxos de custo mínimo em redes coloridas. O objetivo é pegar um fluxo total (como todo o tráfego de uma rede) e dividi-lo em vários caminhos individuais (rotas), de modo que a soma dos custos desses caminhos seja a menor possível. Neste contexto, o custo de um caminho é definido pela quantidade de cores diferentes que ele percorre.

Como funciona na prática

Imagine uma rede onde cada conexão (arco) tem uma cor. O "fluxo" é o movimento de algo através dessa rede. O problema estudado busca dividir esse movimento em rotas. Para calcular o custo, conta-se quantas cores distintas aparecem na rota. O estudo também classifica fluxos específicos, como os "uniformes", onde a quantidade de fluxo em cada conexão utilizada é exatamente a mesma.

Resultados e evidência

A pesquisa trouxe respostas importantes sobre a complexidade computacional desse problema:

- Dificuldade geral: Para fluxos comuns em redes gerais, encontrar a solução exata com menor custo é um problema computacionalmente muito difícil (classificado como NP-Hard).
- Caso viável: Quando o fluxo é "uniforme" e a rede possui apenas duas cores, o problema pode ser resolvido rapidamente pelos computadores (em tempo polinomial).
- Limites de viabilidade: A complexidade aumenta drasticamente com as cores. O problema volta a ser NP-Hard para redes gerais com três cores e para redes acíclicas (sem ciclos) com cinco cores ou mais.

Implicações práticas

Entender a complexidade desses problemas ajuda engenheiros e gestores a definir estratégias. Se um problema é solúvel em tempo polinomial (como no caso de duas cores), é possível criar algoritmos que otimizam a rede em tempo real. Se for NP-Hard, os gestores sabem que não devem buscar a perfeição absoluta em grandes redes, pois o custo computacional seria inviável, optando por soluções aproximadas.

Limitações e próximos passos

O trabalho é estritamente teórico, focado na matemática da computação e teoria dos grafos. O paper não detalha experimentos práticos em empresas reais, nem especifica quais tipos de dados ou mercadorias seriam transportados. O estudo define os limites matemáticos de o que é possível calcular com eficiência, não fornecendo um software pronto para uso, mas sim a base lógica para futuros desenvolvimentos.

QUEM SÃO OS PESQUISADORES

Quem são os pesquisadores

O estudo foi desenvolvido pelos autores C. Carvalho, Jonas Costa, Ana Karolinnna Maia e Cláudia Linhares Sales. O paper não detalha a formação específica, títulos acadêmicos ou trajetória profissional prévia dos pesquisadores, indicando apenas a sua afiliação institucional à Universidade Federal do Ceará (UFC).

PALAVRAS-CHAVE

Flow (mathematics) · Decomposition · Flow network · Minimum-cost flow problem · Decomposition method (queueing theory)