

BUKA AKSES

DIEDIT OLEH

Antonio Comi,
Universitas Roma Tor Vergata, Italia

DITINJAU OLEH

Antonio Polimeni,
Universitas Messina, Italia
Corrado Rindon,
Universitas Mediterranea Reggio Calabria, Italia
Oleksandr Rossolov,
Universitas Dalhousie, Kanada

*KORESPONDENSI

Jian Kang Zhang,
ilovechangda1314@chd.edu.cn

DITERIMA 10 Mei 2024

DITERIMA 01 Juli 2024

DITERBITKAN 25 Juli 2024

KUTIPAN

Zhang J (2024), Desain optimasi rute jalan raya berdasarkan pembelajaran mendalam.

Depan. Transp Masa Depan. 5:1430509.
doi: 10.3389/ffutr.2024.1430509

HAK CIPTA

© 2024 Zhang. Ini adalah artikel akses terbuka yang didistribusikan berdasarkan ketentuan [Lisensi Atribusi Creative Commons \(CC BY\)](#). Penggunaan, distribusi atau reproduksi di forum lain diperbolehkan, asalkan penulis asli dan pemilik hak cipta disebutkan dan publikasi asli dalam jurnal ini dikutip, sesuai dengan praktik akademis yang diterima. Tidak ada penggunaan, distribusi atau reproduksi yang diizinkan yang tidak mematuhi ketentuan ini.

JENIS Penelitian Asli

DITERBITKAN 25 Juli 2024

DOI 10.3389/ffutr.2024.1430509

Desain optimasi rute jalan raya berdasarkan pembelajaran mendalam

Jian Kang Zhang*

CCCC First Highway Consultants Co., Ltd., Xi'an Shaanxi, Cina

Pendahuluan: Dalam beberapa tahun terakhir, total jarak

tempuh dan kepadatan jalur jalan raya Tiongkok telah meningkat dari tahun ke tahun. Diperkirakan pada tahun 2026, total jarak tempuh jalan raya nasional akan melebihi 5,74 juta kilometer. Jaringan jalan raya yang efisien sangat penting bagi upaya suatu negara menuju modernisasi lalu lintas, pembangunan ekonomi, dan peningkatan mata pencaharian masyarakat. Rute jalan raya adalah struktur dasar jaringan jalan raya, yang menentukan apakah jalan raya tersebut dapat memaksimalkan dampak ekonomi dan lalu lintasnya. Oleh karena itu, penelitian tentang desain rute jalan raya mempunyai nilai rekayasa yang signifikan. Perencanaan jalan raya merupakan permasalahan kompleks yang melibatkan berbagai faktor. Apalagi dengan meningkatnya kesadaran terhadap perlindungan lingkungan, maka perlu mempertimbangkan permasalahan alam selain biaya teknis dan ekonomi.

Metode: Makalah ini pertama-tama menunjukkan posisi penting penelitian rute jalan raya dalam peraturan jalan raya, merangkum status penelitian di dalam dan luar negeri, dan membuat daftar langkah-langkah perencanaan jalan raya konvensional. Kemudian membahas desain optimasi berdasarkan kecepatan lari kendaraan dan kenyamanan pengemudi, serta memperkenalkan teori pembelajaran mendalam terkait dan penerapannya pada masalah optimasi multi objektif. Terakhir, dengan tujuan mengatasi masalah perencanaan rute jalan raya yang dipengaruhi oleh banyak faktor, strategi pembelajaran mendalam berdasarkan algoritma genetika multi objektif diadopsi, dan model optimasi multi-tujuan serta fungsi tujuan optimasi disajikan.

Hasil: Strategi pembelajaran mendalam yang diusulkan berdasarkan algoritma genetika multi-tujuan adalah upaya baru untuk menggabungkan algoritma genetika dengan pembelajaran mendalam dalam perencanaan rute jalan raya untuk memecahkan masalah optimasi komprehensif multi-tujuan. Hasilnya menunjukkan bahwa strategi ini dapat menentukan skema rute terbaik dengan mengoptimalkan teknologi sekaligus memenuhi kendala eksternal, sehingga mencapai solusi optimal dari segi teknologi dan ekonomi, serta meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan jalan raya secara keseluruhan.

Pembahasan: Penelitian ini memberikan referensi untuk penerapan deep learning dan penelitian optimasi multiobjektif nonlinier lainnya, membantu penelitian desain optimasi rute jalan raya. Dengan menggabungkan algoritma genetika multi-tujuan dengan pembelajaran mendalam, algoritma ini secara efektif memecahkan berbagai masalah nonlinier multi-tujuan, menyediakan metode dan alat baru untuk perencanaan rute jalan raya.

KATA KUNCI

jaringan jalan raya, desain rute, pembelajaran mendalam, algoritma genetika, optimasi multi-tujuan

1 Pendahuluan

“Untuk menjadi kaya, bangunlah jalan terlebih dahulu” adalah sebuah ideologi panduan penting dalam pembangunan ekonomi Tiongkok yang telah berlangsung lama. Sejak berdirinya Republik Rakyat Tiongkok, Tiongkok telah giat mengembangkan infrastruktur transportasi, di antaranya pembangunan jalan raya merupakan moda transportasi yang paling penting. Sejak awal abad ke-21, seiring dengan kemajuan dan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, Tiongkok telah membuat terobosan besar dalam teknologi dan peralatan infrastruktur jalan raya, namun ini semua merupakan kemajuan dalam proses konstruksi dan pelaksanaannya. Dalam tahap pengambilan keputusan proyek pondasi jalan raya, faktor kunci untuk menentukan volume investasi, kualitas konstruksi dan manfaat ekonomi dari pengoperasian proyek pembangunan jalan raya selanjutnya adalah kualitas skema rute (Li dkk., 2018; Fanggu dan Juni 2019). Saat ini, jaringan jalan raya Tiongkok telah terbentuk, namun masih terdapat beberapa permasalahan yang belum terselesaikan, seperti jumlah total yang tidak mencukupi dan kontradiksi struktural. Pada akhir tahun 2020, masih terdapat lebih dari 900 kabupaten di Tiongkok yang belum tercakup oleh jalan raya nasional, dan 18 kota baru dengan populasi perkotaan lebih dari 200.000 jiwa dan 29 pusat administrasi tingkat prefektur tidak terkoneksi dengan jalan raya nasional (Liu, 1997). Menurut Rencana Jaringan Jalan Raya Nasional, pada tahun 2030, akan dibangun 26.000 km jalan raya nasional, dan 100.000 km jalan raya utama nasional dan provinsi yang akan ditingkatkan. Pembangunan jalan raya Tiongkok berada pada tahap kritis dalam mempercepat pembentukan jaringan (Zhu dkk., 2020). Demikian diperoleh *jalan raya*. Ia hanya bisa diperkuat, bukan dilemahkan. Sangatlah penting untuk memilih skema rute yang baik pada tahap pengambilan keputusan pembangunan jalan raya (Lin, 2011; Šetinc dkk., 2015). Dasar utama pemilihan rute jalan raya adalah desain alinyemen, dan kualitas pemilihan rute menentukan kualitas desain alinyemen. Kami biasanya menganggap semuanya sebagai faktor penentu dalam pemilihan rute, dan berupaya mencapai keselarasan yang mulus, pandangan yang luas, berkendara yang aman dan nyaman (Kang dkk., 2012).

Sepanjang proses pengembangan optimasi rute di seluruh dunia, konsep desain optimasi rute pertama kali dikemukakan pada pertengahan abad ke-20, dan negara-negara maju seperti Amerika Serikat, bekas Uni Soviet dan Jerman mengedepankan sistem programnya. optimasi profil. Pada tahun 1973, Organisasi untuk Kerja Sama dan Pembangunan Ekonomi (OECD) mengintegrasikan prosedur optimalisasi rute Inggris, Jerman, Denmark dan Perancis, dan melakukan uji aplikasi dalam pembangunan jalan tol baru sepanjang 14 km di Italia (Solanki dkk., 1998; Jha dan Schonfeld, 2000; Sabatino dkk., 2015). Hasil pengujian akhir menunjukkan bahwa desain optimasi garis penampang memanjang dapat menghemat sekitar 10% material utama konstruksi jalan raya, seperti semen dan agregat, yang mempunyai nilai ekonomis yang besar untuk konstruksi jalan raya, dan juga mencerminkan bahwa desain optimasi garis tersebut memiliki nilai penelitian yang sangat tinggi. Setelah tahun 1970-an, seiring dengan berkembangnya teknologi komputer, desain konstruksi teknik dasar mulai memasuki transformasi digital, dan desain optimasi garis mulai

bertransformasi dari desain grafis menjadi desain tiga dimensi (Jha dan Schonfeld, 2004; Jha dan Kim, 2006). Semakin banyak negara yang membuat terobosan dalam desain jalur yang optimal. Sejak 1979, negara kita juga telah melakukan banyak penelitian tentang teknologi optimasi desain optimasi garis penampang memanjang, bidang dan bentuk garis tiga dimensi, dan mengembangkan banyak program optimasi yang sangat baik.

Optimalisasi rute mencakup serangkaian tujuan yang lebih luas termasuk biaya konstruksi, dampak lingkungan, dan jangka panjang

keberlanjutan. Saat mempertimbangkan pengoptimalan rute dari sudut pandang pengguna, tujuan utamanya adalah menemukan jalur paling efisien yang meminimalkan waktu perjalanan, konsumsi bahan bakar, atau biaya terkait pengguna lainnya. Elemen kuncinya meliputi: Seringkali merupakan bentuk optimasi yang paling sederhana, dengan fokus pada jarak minimal antara dua titik. Menggabungkan faktor-faktor seperti batas kecepatan, kondisi lalu lintas, dan jenis jalan untuk meminimalkan waktu yang dihabiskan dalam perjalanan. Mengoptimalkan konsumsi bahan bakar atau biaya tol yang paling sedikit, menyeimbangkan jarak dengan penghematan bahan bakar dan biaya tol. Memperhatikan kelancaran rute, menghindari medan yang kasar, sering berhenti, dan ketidaknyamanan lainnya. Pengoptimalan ini biasanya dicapai dengan menggunakan algoritme yang memanfaatkan data real-time, pola lalu lintas historis, dan pemodelan prediktif untuk memberikan rute terbaik kepada pengguna.

Bagi pembangun dan perancang infrastruktur, optimalisasi rute melibatkan pendekatan yang lebih kompleks dan beragam. Sasarannya tidak hanya mencakup efisiensi jangka pendek, tetapi juga mencakup keberlanjutan jangka panjang, kelayakan ekonomi, dan pertimbangan lingkungan. Komponen utamanya meliputi: Meminimalkan biaya yang dikeluarkan untuk membangun rute tersebut, termasuk material, tenaga kerja, dan peralatan. Mengurangi jejak ekologis dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti penggundulan hutan, polusi, dan gangguan terhadap satwa liar. Menavigasi melalui atau mengelilingi penghalang alam seperti gunung, sungai, dan kawasan perkotaan. Memastikan rute tersebut tetap berfungsi dan efisien dalam jangka panjang, dengan mempertimbangkan pemeliharaan, peningkatan, dan ketahanan terhadap perubahan lingkungan.

Penelitian telah menunjukkan bahwa banyak jalan raya yang gagal menarik perhatian pembangunan pos lalu lintas karena tidak mempertimbangkan perilaku pengguna secara memadai selama tahap desain. Masalah ini menyoroti pentingnya memasukkan model pilihan jalur ke dalam proses perencanaan dan desain. Di Gangi dan Polimeni (2022) mengkaji permasalahan ini secara mendalam. Penelitian mereka, “Model Pilihan Jalur dalam Penugasan Stochastic: Implementasi dan Analisis Komparatif,” berfokus pada bagaimana pilihan rute pengguna dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti waktu perjalanan, biaya, dan kenyamanan. Mereka menggunakan model keseimbangan pengguna stokastik (SUE) untuk memprediksi dan memahami pilihan-pilihan ini dengan lebih baik. Model ini memperhitungkan keacakan persepsi dan preferensi pengguna, sehingga menawarkan pendekatan yang lebih realistis terhadap penetapan lalu lintas dan perencanaan rute. Dengan menerapkan model-model ini, para perencana dapat merancang rute jalan raya yang lebih sesuai dengan preferensi pengguna sebenarnya, sehingga meningkatkan kemungkinan bahwa jalan baru tersebut akan digunakan

sebagaimana mestinya. Pendekatan ini membantu menghindari kesalahan yang merugikan dalam membangun jalan raya yang akhirnya kurang dimanfaatkan karena kurangnya pertimbangan terhadap cara pengguna menentukan rute perjalanan mereka (Oleh Gangi dan Polimeni, 2022). Memasukkan pemodelan perilaku pengguna ke dalam optimasi rute jalan raya melibatkan penggunaan model utilitas acak (RUM) untuk mensimulasikan keputusan berdasarkan memaksimalkan utilitas yang dirasakan. Metode ini mengintegrasikan berbagai faktor penentu utilitas, seperti waktu perjalanan, biaya, dan kenyamanan, yang penting untuk memahami dan memprediksi perilaku pemilihan rute. Dengan memanfaatkan teknik komputasi tingkat lanjut seperti

pembelajaran mendalam dan algoritma genetika, perencanaan dapat mencapai proses optimasi yang lebih komprehensif dan adaptif. Hal ini memastikan bahwa jalan raya baru tidak hanya memenuhi persyaratan teknis dan ekonomi tetapi juga selaras dengan preferensi dan perilaku pengguna, yang pada akhirnya menghasilkan volume lalu lintas yang lebih tinggi dan pemanfaatan yang lebih baik.

Namun karena banyak kondisi yang mempengaruhi dalam pelaksanaan optimasi rute, maka desain optimasi rute di China jarang diterapkan dalam desain proyek infrastruktur jalan raya yang sebenarnya (Yesus dkk., 2011; Deng dkk., 2017; Bongiorno dkk., 2019). Setelah sekian lama melakukan penelitian online

Perbatasan di [Transportasi Masa Depan 02 frontiersin.org](https://doi.org/10.3389/ffutr.2024.1430509)
Zhang 10.3389/ffutr.2024.1430509

desain optimasi, langkah-langkah untuk mengoptimalkan desain garis saat ini adalah sebagai berikut:

- (1) Desain ruang garis, seperti: desain bidang, penampang horizontal, dan vertikal;
- (2) Desain bentuk garis, seperti: desain kelurusan garis;
- (3) Desain batas kecepatan jalur;
- (4) Desain lanskap garis.

Ini adalah ukuran desain rute itu sendiri, yang bersama-sama mempengaruhi kecepatan pengoperasian kendaraan yang melaju dan pengalaman berkendara pengemudi, seperti kenyamanan dan peringatan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa optimalisasi rute jalan merupakan permasalahan kompleks yang melibatkan berbagai faktor, antara lain faktor teknis, ekonomi, dan lingkungan. Selain itu, pemahaman dan penggabungan perilaku pengguna, khususnya perilaku pemilihan rute, sangat penting untuk mengembangkan model yang efektif dan realistis. Keputusan pengguna dalam memilih rute mempunyai dampak yang signifikan terhadap efisiensi dan keberlanjutan jaringan jalan raya.

Sejak abad ke-21, teknologi komputer dan Internet telah memasuki masa perkembangan pesat, dan perkembangan jaringan saraf tiruan terkomputerisasi telah matang. Orang menggunakannya sebagai alat penelitian matematika terapan untuk mempelajari skema desain rute optimal dalam proyek pembangunan jalan raya menggunakan teori optimasi. Dalam makalah ini, teori pembelajaran mendalam yang matang dari jaringan saraf tiruan komputer dipilih untuk mensintesis berbagai aspek desain rute optimal, dikombinasikan dengan model perilaku pengguna, untuk mengoptimalkan kecepatan lari kendaraan dan kenyamanan berkendara pengemudi.

2 Tinjauan literatur

2.1 Desain rute

Desain optimasi rute pertama kali muncul pada pertengahan abad ke-20, dengan negara-negara maju seperti Amerika Serikat, bekas Uni Soviet, dan Jerman menetapkan program optimasi profil. Upaya awal ini berfokus pada peningkatan efisiensi dan efektivitas desain rute jalan raya dengan mengintegrasikan berbagai

pertimbangan teknik dan ekonomi. Pada tahun 1973, Organisasi untuk Kerjasama Ekonomi dan Pembangunan (OECD) mengintegrasikan prosedur optimalisasi rute Inggris, Jerman, Denmark, dan Perancis, melakukan uji aplikasi dalam membangun jalan tol baru sepanjang 14 km di Italia. Hasil pengujian menunjukkan nilai ekonomis yang signifikan, menghemat sekitar 10% material utama seperti semen dan agregat. Hal ini menunjukkan manfaat praktis dari optimasi rute, menyoroti potensi penghematan biaya yang besar dalam pembangunan jalan raya.

Sebuah studi penting dalam domain ini dilakukan oleh Billheimer dan Gray (1973), yang menyajikan algoritma pemilihan rute yang menyeimbangkan biaya konstruksi tetap dan biaya pengguna variabel dalam jaringan transportasi (Billheimer dan Gray, 1973). Algoritme ini, dirancang untuk sekumpulan node tetap dengan permintaan yang diketahui, menerapkan kriteria eliminasi dan penyisipan tautan agar menyatu ke optimal lokal. Penerapan praktis algoritme, didemonstrasikan menggunakan representasi Minneapolis-St. Paul, menggarisbawahi pentingnya menyeimbangkan elemen biaya dalam desain jaringan.

Gao dkk. (2005) memperkenalkan algoritma solusi untuk masalah desain jaringan diskrit dua tingkat, yang berhubungan dengan pemilihan penambahan link ke jaringan jalan yang ada pada kondisi permintaan tertentu (Gao dkk., 2005). Algoritma yang diusulkan, mengatasi kesulitan komputasi pemrograman bilangan bulat campuran bi-level nonlinier, menunjukkan efisiensi dalam meminimalkan total biaya perjalanan sambil mempertimbangkan perilaku pilihan rute pengguna jaringan.

Cantarella, Pavone, dan Vitetta (2005) membahas heuristik untuk desain jaringan jalan perkotaan, dengan fokus pada tata letak jalur dan pengaturan sinyal (Cantarella dkk., 2006). Metode mereka, yang menggunakan metode metaheuristik seperti Hill Climbing, Simulated Annealing, Tabu Search, Genetic Algorithms, dan Path Relinking, dibandingkan dengan penerapannya pada jaringan nyata, sehingga menyoroti efektivitas pendekatan-pendekatan ini dalam mengoptimalkan jaringan jalan perkotaan.

Desain jaringan perkotaan juga telah berkembang, menggabungkan teknik multi-kriteria heuristik berdasarkan algoritma genetika. Cantarella dan Vitetta (2006) menganalisis desain jaringan perkotaan melalui pendekatan heuristik, mengoptimalkan tata letak jaringan dan kapasitas link (Cantarella dan Vitetta, 2006). Metode mereka, dengan mempertimbangkan permintaan elastis sehubungan dengan pilihan moda dan mempertimbangkan periode puncak, mencerminkan kompleksitas optimalisasi rute perkotaan dan kebutuhan akan evaluasi multi-kriteria.

Russo dan Vitetta (2006) mengusulkan metode topologi untuk menyortir dan mengurangi solusi masalah desain jaringan perkotaan (Russo dan Vitetta, 2006). Pendekatan mereka, yang menerapkan analisis cluster berdasarkan kesamaan topologi dan nilai kriteria, memberikan cara sistematis untuk mengidentifikasi tata letak jaringan optimal yang laten, sehingga semakin memajukan bidang optimasi rute.

Selain itu, Comi dan Polimeni (2022) mengeksplorasi model pilihan jalur menggunakan data mobil terapung (FCD), menekankan pentingnya pengumpulan data yang andal dan struktur model yang menyeimbangkan keakuratan perkiraan dan penerapan di dunia nyata (Comi dan Polimeni, 2022). Metodologi mereka, yang diterapkan pada angkutan penumpang dan barang, menyoroti manfaat praktis dari pengintegrasian data real-time dalam model optimisasi rute.

Seiring waktu, perkembangan teknologi komputer secara signifikan memajukan metode pengoptimalan rute, beralih dari desain grafis ke desain tiga dimensi. Evolusi ini memungkinkan pemodelan rute jalan raya yang lebih akurat

dan komprehensif, dengan menggabungkan variabel dan batasan yang lebih luas. Meskipun ada kemajuan, penerapan desain optimalisasi rute di Tiongkok masih terbatas. Jaringan jalan raya di negara ini menghadapi tantangan seperti total jarak tempuh yang tidak mencukupi dan kontradiksi struktural, yang menghambat penerapan teknik optimalisasi rute yang canggih secara luas. Penelitian dan pengembangan yang berkelanjutan di bidang ini sangat penting untuk mengatasi tantangan-tantangan ini dan mewujudkan sepenuhnya manfaat desain rute jalan raya yang optimal di Tiongkok.

2.2 Algoritma genetika

Algoritma genetika (GA) banyak digunakan dalam berbagai masalah optimasi, termasuk optimasi rute jalan raya. Mereka mensimulasikan proses evolusi alam, menggunakan operasi seperti seleksi, persilangan, dan mutasi untuk mengembangkan solusi

Perbatasan di [Transportasi Masa Depan 03 frontiersin.org](https://doi.org/10.3389/fut.2024.1430509)
Zhang 10.3389/fut.2024.1430509

menuju optimal. Prinsip dasar di balik GA adalah memperbaiki populasi kandidat solusi secara berulang dengan mempertahankan sifat-sifat yang bermanfaat dan membuang sifat-sifat yang kurang efektif. Proses ini serupa dengan seleksi alam, di mana individu yang paling kuat mempunyai peluang lebih besar untuk bertahan hidup dan bereproduksi.

Integrasi GA dengan teknik pengoptimalan lainnya, seperti pembelajaran mendalam, semakin meningkatkan kemampuannya. Dalam studi yang dilakukan oleh Turner dan Miles (1971), metode bantuan komputer dikembangkan untuk lokasi rute regional, menandai salah satu penerapan awal GA dalam transportasi (Turner dan Miles, 1971). Buku "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning" oleh Goldberg (1989) adalah karya penting yang memberikan cakupan komprehensif tentang GA dan penerapannya di berbagai bidang, termasuk perencanaan transportasi (Goldberg, 1988). Kemudian, Beasley (1993) dan Coley (1999) menyempurnakan pendekatan-pendekatan ini, dengan menunjukkan manfaat praktisnya dalam mengoptimalkan alinyemen jalan raya (Beasley, 1993; Coley, 1999).

Zhang dan Lu (2007) merangkum karakteristik struktural model pemrograman bi-level untuk CNDP dan mengembangkan algoritma genetika modern yang dirancang untuk memecahkan masalah ini (ZHANG dan Jian, 2007). Pendekatan mereka menunjukkan sifat konvergensi yang sangat baik dan solusi yang dapat diandalkan, yang menegaskan penerapan praktis GA dalam perencanaan transportasi.

Xu, Wei, dan Wang (2008) membandingkan kemandirian simulasi anil (SA) dan algoritma genetika dalam masalah desain jaringan berkelanjutan (CNDP) (Xu dkk., 2009). Temuan mereka menunjukkan bahwa meskipun SA lebih efisien untuk skenario permintaan tinggi, GA mencapai solusi yang lebih optimal dalam skenario permintaan rendah meskipun memerlukan waktu komputasi lebih lama.

Untuk desain rute jalan raya, GA sangat efektif dalam mengatasi masalah optimasi multi-tujuan yang kompleks.

Mereka membantu menemukan rute terbaik dengan mempertimbangkan berbagai tujuan yang saling bertentangan seperti biaya, keselamatan, dan dampak lingkungan. Misalnya, Maji dan Jha (2009) mengeksplorasi optimasi penyalarsan jalan raya multi-tujuan menggunakan GA, menyoroti efektivitasnya dalam menangani permasalahan nonlinier yang kompleks (Casetta, 2009). Fleksibilitas dan kemampuan beradaptasi GA menjadikannya cocok untuk pengoptimalan rute jalan raya, karena GA dapat secara efisien menavigasi ruang solusi yang besar dan mengidentifikasi solusi berkualitas tinggi yang menyeimbangkan berbagai kriteria desain.

Kemajuan yang signifikan dalam bidang ini adalah model bi-level yang diusulkan oleh Madadi et al. (2019) untuk mengoptimalkan jaringan jalan yang mengakomodasi pengemudian manual dan otomatis (Madadi dkk., 2020). Model mereka merumuskan masalah sebagai masalah desain jaringan dan menyajikan algoritma efisien yang memenuhi persyaratan solusi spesifik, mengungguli metode lain dalam semua kriteria yang dipertimbangkan.

Karya Shanmugasundaram dkk. (2019) menerapkan algoritma genetika untuk mengoptimalkan desain jaringan jalan satu arah, dengan fokus pada meminimalkan jarak perjalanan kendaraan (Shanmugasundaram dkk., 2019). Penelitian mereka menunjukkan potensi GA untuk secara efektif menangani masalah desain jaringan, menekankan kegunaannya dalam mengoptimalkan arah perjalanan dan meningkatkan efisiensi jaringan secara keseluruhan.

Baru-baru ini, penelitian yang dilakukan oleh Li dan Zhao (2020) menerapkan GA pada optimalisasi rute penjemputan taksi, yang menunjukkan keserbagunaannya dalam sistem lalu lintas modern (Li dan Zhao, 2020). Dengan mensimulasikan proses evolusi alami, GA memberikan solusi kuat dan seimbang

berbagai tujuan yang saling bertentangan, menjadikannya alat yang sangat berharga dalam perencanaan transportasi modern dan pembangunan infrastruktur.

2.3 Jaringan saraf

Jaringan saraf, khususnya model pembelajaran

mendalam, telah menunjukkan potensi besar dalam memecahkan masalah pengoptimalan yang kompleks. Mereka meniru struktur otak manusia, terdiri dari beberapa lapisan neuron yang memproses masukan untuk menghasilkan keluaran. Arsitektur ini memungkinkan jaringan saraf untuk belajar dari data dan mengidentifikasi pola rumit yang mungkin terlewatkan oleh metode tradisional. Kemampuan untuk menangani kumpulan data yang besar dan mengekstraksi wawasan yang bermakna menjadikan jaringan saraf sebagai alat yang ampuh untuk berbagai aplikasi, termasuk pengoptimalan rute jalan raya.

Convolutional Neural Networks (CNNs) adalah jenis jaringan saraf yang biasa digunakan untuk tugas pengenalan gambar. Mereka unggul dalam mengidentifikasi pola dan fitur spasial dalam gambar, sehingga berguna untuk menganalisis data visual terkait desain jalan raya, seperti citra satelit dan peta medan. Dengan memanfaatkan CNN, peneliti dapat memasukkan data spasial ke dalam proses optimalisasi rute, sehingga meningkatkan akurasi dan kelengkapan model.

Deep Belief Networks (DBNs) adalah jenis lain dari model pembelajaran mendalam yang diterapkan dalam berbagai masalah pengenalan pola dan klasifikasi. DBN terdiri dari beberapa lapisan variabel laten stokastik, yang memungkinkan mereka mempelajari representasi hierarki data. Dalam optimalisasi rute jalan raya, DBN dapat secara efektif mengintegrasikan dan memproses beragam sumber data, seperti pola lalu lintas, kendala lingkungan, dan faktor ekonomi. Kemampuan ini memungkinkan pengembangan model optimasi multi-tujuan yang mampu mengatasi kompleksitas desain rute jalan raya.

Penelitian penting oleh Hinton et al. (2006) tentang pembelajaran mendalam telah meletakkan dasar untuk

penggunaan jaringan saraf dalam tugas optimasi yang kompleks (Hinton dkk., 2006). Baru-baru ini, aplikasi oleh Krizhevsky dkk. (2012) dengan CNN dalam pengenalan gambar telah mempengaruhi penggunaannya dalam analisis data spasial untuk perencanaan transportasi (Krizhevsky dkk., 2012). Selain itu, Huang dkk. (2018) menunjukkan efektivitas DBN dalam prediksi arus lalu lintas, yang selanjutnya memvalidasi penerapan pembelajaran mendalam dalam optimalisasi rute jalan raya (Huang dkk., 2018). Kemajuan signifikan di bidang ini adalah kerangka kerja hybrid deep-learning-metaheuristic yang diusulkan oleh Madadi dan Correia (2023). Kerangka kerja mereka menggunakan jaringan saraf grafik (GNN) untuk memperkirakan solusi masalah penugasan lalu lintas keseimbangan pengguna dan menggunakan model ini untuk menghitung evaluasi fungsi kebugaran dari algoritma genetika (GA) untuk masalah desain jaringan (NDP). Pendekatan hibrid ini diuji pada tiga jaringan dan menunjukkan bahwa pendekatan ini dapat memberikan solusi dalam selisih 1,5% dari hasil terbaik dalam waktu kurang dari 0,5% waktu yang digunakan oleh solusi eksak (Madadi dan Correia, 2023). Studi penting lainnya yang dilakukan oleh Chiou (2024) memperkenalkan optimasi evolusi pembelajaran penguatan berbantuan pengetahuan (KARLEO) untuk masalah desain jaringan jalan dalam kondisi ketidakpastian. Metode ini menggunakan model lalu lintas tautan stokastik untuk menangkap biaya yang bervariasi terhadap waktu yang dikeluarkan oleh arus lalu lintas ketika kapasitas tautan tidak pasti. Pendekatan yang diusulkan meningkat secara signifikan dibandingkan metode konvensional dengan secara efektif mengurangi total biaya dengan biaya komputasi yang rendah (Chiou, 2024).

Perbatasan di [Transportasi Masa Depan 04 frontiersin.org](https://doi.org/10.3389/fut.2024.1430509)
Zhang 10.3389/fut.2024.1430509

genetika, membimbingnya untuk memilih, menyilangkan, dan memutasi solusi dengan lebih efektif. Operator genetika terus menghasilkan konfigurasi rute baru dan beragam, membantu jaringan saraf belajar dan beradaptasi dengan lebih efektif.

Dengan menggabungkan operator genetika, jaringan saraf dihadapkan pada spektrum solusi potensial yang luas, termasuk rute yang berkinerja tinggi dan suboptimal. Paparan komprehensif ini membantu jaringan saraf mengembangkan pemahaman yang berbeda tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja rute, meningkatkan kemampuannya untuk memprediksi kesesuaian solusi baru secara akurat.

Penelitian Zhang dkk. (2019) menunjukkan keberhasilan integrasi GA dan jaringan saraf dalam mengoptimalkan alinyemen jalan raya, mencapai peningkatan signifikan dalam efisiensi perjalanan dan dampak lingkungan (Zhang dkk., 2019). Demikian pula penelitian Wang et al. (2020) dan Liu dkk. (2021) semakin memvalidasi manfaat pendekatan terpadu ini dalam berbagai skenario transportasi, dan menggarisbawahi potensi penerapannya secara luas (Wang dkk., 2020; Liu dkk., 2021).

Integrasi teknik-teknik ini menghasilkan model optimasi yang kuat yang mampu mengatasi sifat desain rute jalan raya yang kompleks dan multi-tujuan. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan jaringan transportasi namun juga memberikan solusi terukur dan mudah beradaptasi untuk perencanaan dan pengembangan infrastruktur di masa depan.

2.4 Integrasi algoritma genetika dan jaringan saraf

Integrasi algoritma genetika dan jaringan saraf dalam pengoptimalan rute jalan raya memanfaatkan kekuatan kedua teknik tersebut untuk meningkatkan kinerja secara keseluruhan. Algoritma genetika menyediakan mekanisme yang kuat untuk menjelajahi ruang pencarian dan mengoptimalkan berbagai tujuan, sementara jaringan saraf menawarkan kemampuan prediktif yang kuat yang dapat mengevaluasi kesesuaian berbagai konfigurasi rute.

Dalam pendekatan terpadu ini, populasi awal dihasilkan secara acak untuk mencakup ruang pencarian yang luas, sehingga memastikan beragam solusi potensial. Operator persilangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah persilangan dua titik, dimana dua solusi induk bertukar segmen kode genetiknya untuk menghasilkan keturunan. Operator mutasi memperkenalkan perubahan acak pada gen solusi keturunan dengan probabilitas rendah, memastikan eksplorasi area baru di ruang pencarian.

Jaringan saraf terintegrasi dengan algoritma genetika melalui loop umpan balik. Sistem ini mengevaluasi kesesuaian setiap solusi, memprediksi kinerja rute jalan raya berdasarkan data historis dan masukan waktu nyata seperti pola lalu lintas, kondisi lingkungan, dan biaya konstruksi. Prediksi ini menginformasikan algoritma

3 Bahan dan metode

3.1 Definisi masalah

Optimalisasi rute jalan raya merupakan masalah multi-segi yang melibatkan faktor teknis, ekonomi, dan lingkungan. Tujuan utamanya adalah meminimalkan waktu perjalanan, biaya konstruksi, dan dampak lingkungan sekaligus memaksimalkan keselamatan dan kenyamanan pengguna. Metode tradisional sering kali gagal dalam menyeimbangkan tujuan-tujuan ini karena ketidakmampuannya menangani hubungan nonlinier antar variabel yang kompleks. Oleh karena itu, yang maju

Pendekatan yang mengintegrasikan pembelajaran mendalam dan algoritma genetika diusulkan untuk mengatasi tantangan ini secara efektif.

3.2 Pertimbangan desain kecepatan lari kendaraan yang optimal

Pertama-tama, kita harus memperjelas bahwa ada perbedaan mendasar antara batas kecepatan yang dirancang di jalan raya dan kecepatan kendaraan sebenarnya. Kecepatan berkendara kendaraan sebenarnya merupakan indikator penting yang benar-benar mencerminkan kualitas desain jalan raya. Ada banyak kondisi yang mempengaruhi kecepatan berkendara kendaraan (Maji dan Jha, 2009; Hou dkk., 2019). Kondisi subjektif adalah perilaku mengemudi pengemudi4, dan kondisi objektif adalah kualitas desain jalan raya dan kualitas mengemudi kendaraan. Saat kendaraan melaju dengan kecepatan tinggi, perubahan kondisi jalan seperti tanjakan terjal dan tikungan tajam akan mempengaruhi perilaku berkendara pengemudi dan berujung pada kecelakaan lalu lintas. Terlihat bahwa pengaruh komprehensif faktor subjektif dan objektif harus dipertimbangkan dalam desain optimasi kecepatan lari kendaraan (Mohammadi dkk., 1995; Han dkk., 2016).

(1) Perilaku mengemudi pengemudi

Secara subyektif, pengemudi menempati dominasi kendali kendaraan. Keterampilan dan kebiasaan mengemudi

pengemudi menentukan kecepatan kendaraan yang berjalan di permukaan jalan yang berbeda. Saat berkendara di jalur lurus, sebagian besar pengemudi akan memilih mengemudi dengan kecepatan konstan sesuai dengan batas kecepatan atau dengan kecepatan yang dapat membuat mereka merasa aman. Di tikungan, ia akan melambat terlebih dahulu, lalu melewatinya, lalu berakselerasi.

(2) Komposisi kategori kendaraan jalan raya

Kendaraan di jalan raya dapat dibedakan menjadi kendaraan penumpang dan kendaraan barang menurut kegunaannya, serta kendaraan kecil dan kendaraan besar menurut ukurannya. Dari segi desain garis, desain umumnya didasarkan pada mobil besar dan kecil. Mobil kecil dicirikan oleh ukurannya yang kecil, muatan yang ringan dan kemampuan manuver yang baik. Mobil besar dicirikan oleh volume besar, beban berat, dan kemampuan manuver yang buruk. Saat merancang jalur, kita harus memperhitungkan komposisi kendaraan yang mungkin muncul setelah jalur berjalan, seperti jalan dengan kendaraan besar, jalur lebar, dan kekuatan tanah dasar yang tinggi.

(3) Ciri-ciri garis pada garis

Secara umum, ciri-ciri linier jalan raya terutama berupa kelurusan, kemiringan, dan saling bersilangan. Jika terdapat lebih banyak garis lurus pada suatu jalur, maka kecepatan lari keseluruhan kendaraan di jalur tersebut akan lebih cepat, dan jika terdapat lebih banyak tikungan pada jalur tersebut, maka kecepatan lari keseluruhan kendaraan di jalur tersebut akan lebih lambat. Semakin besar radius belok, maka semakin cepat kendaraan berbelok. Sedangkan untuk kemiringan, semakin besar kemiringan menanjak maka semakin sulit kendaraan besar untuk mendaki lereng tersebut, dan semakin lambat pula kecepatan lari kendaraan secara keseluruhan. Semakin curam kemiringannya maka kendaraan besar akan semakin sulit direm, sehingga mudah mengakibatkan rem blong dan kecelakaan lalu lintas yang serius (Ya, 2001; Wisnuraj dan Vishak, 2017).

Menurut persyaratan “Kode Evaluasi Keselamatan Proyek Jalan Raya” Tiongkok, ketika kecepatan lari kendaraan dalam desain jalur kurang dari atau sama dengan 80 km/jam,

TABEL 1 Kriteria evaluasi koordinasi kecepatan pengoperasian jalan raya dengan berbagai tingkatan.

Jalan raya dan jalan raya kelas satu	$ \Delta V_{85} < 10 \text{ km/jam}$	bagus sekali
	$ \Delta S_{aya} \leq 10 \text{ km/jam}\cdot\text{m}$	
	$10\text{km/jam} \leq < 20 \text{ km/jam} \mid \Delta V_{85} \mid$	Bagus
	$ \Delta S_{aya} \leq 10 \text{ km/jam}\cdot\text{m}$	
	$ \Delta V_{85} \geq 20\text{km/jam}$	menjadi miskin
	$ \Delta S_{aya} > 10\text{km/jam}\cdot\text{m}$	

Jalan raya kelas dua dan kelas tiga	$ \Delta V_{85} < 20\text{km/jam}$	bagus sekali
	$ \Delta S_{aya} \leq 15\text{km/jam}\cdot\text{m}$	
	$ \Delta V_{85} \geq 20\text{km/jam}$	menjadi miskin
	$ \Delta S_{aya} > 15\text{km/jam}\cdot\text{m}$	

perancang perlu mengevaluasi koordinasi kecepatan lari kendaraan (Davis dan Jha, 2011). Kriteria penilaiannya adalah nilai absolut selisih kecepatan lari kendaraan pada ruas jalan yang berdekatan dan nilai absolut gradien kecepatan lari kendaraan. Nilai absolut gradien kecepatan lari dihitung sebagai Persamaan. 1:

$$\frac{|\Delta S_{aya}|}{L} \times 100 \quad (1)$$

Diantaranya:

ΔS_{aya} Merupakan nilai mutlak gradien kecepatan lari, km/jam·m; ΔV_{85} Merupakan nilai mutlak selisih kecepatan lari titik awal dan titik akhir garis satuan; L adalah panjang garis target, M.

Tabel berikut menunjukkan standar evaluasi koordinasi kecepatan pengoperasian berbagai kelas jalan raya. (Tabel 1).

(4) Perilaku Pengguna dalam Pemilihan Rute

Perilaku pengguna harus dimodelkan mengenai pilihan rute untuk menciptakan model optimasi rute jalan raya yang realistis dan efektif. Dalam jaringan jalan raya, pilihan rute pengguna biasanya dimodelkan menggunakan model utilitas stokastik, khususnya metode utilitas maksimum yang dirasakan. Pendekatan ini mengasumsikan bahwa pengguna memilih rute berdasarkan pada memaksimalkan utilitas yang mereka rasakan, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti waktu perjalanan, biaya, dan kenyamanan.

Model ini menggunakan model utilitas acak (RUM) (Casetta, 2009), untuk mensimulasikan keputusan pengguna. Model ini menghitung probabilitas pengguna memilih rute tertentu berdasarkan utilitas yang diperoleh dari setiap pilihan rute. Utilitas $U_{aku j}$ dari rute j untuk pengguna i didefinisikan sebagai Persamaan. 2:

$$U_{aku j} = \mu_{aku j} + e_{aku j} \quad (2)$$

Diantaranya:

$\mu_{aku j}$ adalah bagian deterministik dari utilitas, dan $e_{aku j}$ adalah komponen stokastik, yang menangkap faktor-faktor yang tidak teramati. Probabilitas $P_{iku j}$ pengguna i memilih rute j kemudian dimodelkan sebagai Persamaan. 3:

$$P_{iku j} = \frac{e^{\mu_{aku j}}}{\sum_k e^{\mu_{aku k}}} \quad (3)$$

Fungsi utilitas ini dapat digabungkan ke dalam model penugasan statis dan dinamis. Dalam model statis, perilaku pengguna dianggap sebagai kendala dalam masalah optimasi, memastikan bahwa pilihan rute selaras dengan kondisi keseimbangan di mana tidak ada pengguna yang dapat secara sepihak mengurangi biaya perjalanan dengan berpindah rute. Dalam model dinamis, perilaku pengguna terus disesuaikan berdasarkan kondisi dan umpan balik waktu nyata, sehingga menawarkan pendekatan yang lebih responsif dan adaptif terhadap pengoptimalan rute.

Integrasi pemodelan perilaku pengguna ke dalam proses optimasi rute jalan raya meningkatkan realisme dan akurasi model, memastikan bahwa rute yang diusulkan selaras dengan preferensi dan perilaku pengguna sebenarnya.

3.3 Pertimbangan desain optimal kenyamanan pengemudi

Kenyamanan pengemudi dalam proses berkendara ditentukan oleh tiga faktor utama yang mempengaruhi dan beberapa faktor sekunder. Faktor utamanya adalah:

- (1) Ciri-ciri jalan raya adalah kelurusan, kemiringan, dan lain-lain yang disebutkan di atas;
- (2) Sarana penunjang jalan, seperti lampu lalu lintas, rambu lalu lintas, tempat pelayanan, dan tempat istirahat;
- (3) Faktor eksternal, yaitu faktor yang tidak obyektif selain dari jalan itu sendiri dan fasilitas pendukungnya, seperti pemandangan alam dan iklim di kedua sisi jalan.

Lihat Tabel berikut untuk mengetahui faktor primer dan sekunder dalam evaluasi kenyamanan pengemudi. (Tabel 2).

3.4 Desain optimal dengan mempertimbangkan tujuan keberlanjutan

Tujuan yang harus dipertimbangkan harus mempertimbangkan tiga komponen keberlanjutan: ekonomi, sosial, dan lingkungan.

TABEL 2 Faktor primer dan sekunder untuk mengevaluasi kenyamanan.

--	--

Ciri-ciri diri	Kualitas permukaan jalan Karakteristik perkerasan garis Lebar jalan Tingkat permukaan jalan
----------------	--

Fasilitas pendukung	Area servis dan tempat istirahat Lampu lalu lintas Rambu lalu lintas Lansekap desain garis
Faktor eksternal	Pemandangan alam di sepanjang rute Cuaca Arus lalu lintas gerbang tol

GAMBAR 1
Model teoritis dasar pembelajaran mendalam.

Selain itu, penting untuk menyeimbangkan tujuan pengguna (yaitu, waktu perjalanan minimum, biaya moneter minimum yang dirasakan), manajer (yaitu, biaya pengelolaan minimum, biaya bangunan minimum), dan masyarakat (yaitu, polusi minimum, kebisingan minimum) (Banister, 2001; Cascetta dkk., 2015; Russo dan Rindone, 2021).

3.5 Pembelajaran mendalam dan integrasi algoritma genetika

Pembelajaran mendalam adalah cabang penelitian pembelajaran mesin, dan tujuan utamanya adalah meniru otak manusia untuk membangun jaringan saraf untuk pembelajaran analitis. Pembelajaran mendalam adalah jenis pembelajaran tanpa pengawasan. Konsep pembelajaran mendalam bermula dari penelitian jaringan syaraf tiruan. Ini terutama mencakup tiga aspek metode analisis pola: (1) Sistem jaringan saraf berbasis konvolusi, yaitu Convolution Neural Network (CNN). (2) Pengkodean mandiri berdasarkan neuron multilayer saraf

jaringan, termasuk self-encoder, dan yang telah mendapat perhatian luas dalam beberapa tahun terakhir. Pengkodean renggangDua kelas (Pengkodean Jarang). (3) Pra-pelatihan dengan jaringan saraf pengkodean mandiri multi-lapis, dan kemudian mengoptimalkan lebih lanjut jaringan kepercayaan mendalam (DBN) dari bobot jaringan saraf dengan menggabungkan informasi diskriminasi. Setelah

pembelajaran mendalam secara bertahap mengubah representasi fitur "tingkat rendah" awal menjadi representasi fitur "tingkat tinggi" melalui pemrosesan multi-level, tugas pembelajaran yang kompleks seperti klasifikasi dapat diselesaikan dengan "model sederhana", dan perceptron multi-level dengan banyak lapisan tersembunyi adalah struktur pembelajaran yang mendalam.

Pembelajaran mendalam dapat diterapkan pada masalah pemrograman multi-tujuan nonlinier seperti optimasi desain rute jalan raya. Menggabungkan pembelajaran mendalam dengan algoritma genetika multi-tujuan (MOGA) secara efektif mengatasi masalah nonlinier multi-tujuan seperti optimasi desain rute jalan raya (Gambar 1).

- (1) Pembuatan Populasi Awal: Dihasilkan secara acak berdasarkan kemungkinan parameter rute.
- (2) Crossover: Menggabungkan dua solusi induk untuk menghasilkan keturunan, meningkatkan keragaman genetik.
- (3) Mutasi: Memperkenalkan perubahan acak pada keturunannya, mencegah konvergensi dini dan mengeksplorasi solusi baru.
- (4) Evaluasi Kesesuaian: Kesesuaian setiap solusi dievaluasi berdasarkan berbagai tujuan, untuk memastikan solusi yang beragam dan optimal.

3.6 Integrasi algoritma genetika dan jaringan saraf

Metodologi yang diusulkan mengintegrasikan algoritma genetika (GA) dengan jaringan saraf untuk mengoptimalkan desain rute jalan raya. Pendekatan hibrid ini memanfaatkan kekuatan kedua teknik untuk meningkatkan kinerja proses pengoptimalan secara keseluruhan.

Populasi awal dihasilkan secara acak untuk mencakup ruang pencarian yang luas, memastikan beragam solusi potensial. Setiap individu dalam populasi mewakili kemungkinan rute jalan raya, dikodekan sebagai rangkaian parameter seperti sambungan simpul, panjang segmen, dan kelengkungan. Keberagaman populasi awal sangat penting untuk mengeksplorasi berbagai wilayah ruang solusi, sehingga meningkatkan kemungkinan menemukan solusi berkualitas tinggi.

Operator crossover yang digunakan dalam penelitian ini adalah crossover dua titik. Dalam proses ini, dua solusi induk bertukar segmen kode genetiknya untuk menghasilkan keturunan. Secara khusus, dua titik persilangan dipilih secara acak sepanjang kromosom induk. Segmen antara titik-titik ini ditukar, menghasilkan dua keturunan baru yang mewarisi karakteristik dari kedua orang tuanya. Operator ini mempromosikan keragaman genetik dengan menggabungkan sifat-sifat yang berbeda, yang berpotensi menghasilkan solusi yang unggul.

Operator mutasi menyebabkan perubahan acak pada gen solusi keturunan dengan probabilitas rendah. Proses ini melibatkan perubahan satu atau lebih parameter keturunan, seperti mengubah koneksi node atau menyesuaikan panjang segmen. Operator mutasi memastikan eksplorasi yang baru

area dalam ruang pencarian, mencegah konvergensi prematur ke lokal optima dan menjaga keragaman genetik dalam populasi.

3.7 Dampak operator genetik pada jaringan saraf

Operator genetik memainkan peran penting dalam integrasi dengan jaringan saraf, khususnya dalam pengaruhnya terhadap evaluasi dan proses pembelajaran jaringan saraf.

Model pembelajaran mendalam diintegrasikan dengan GA melalui putaran umpan balik, di mana jaringan saraf mengevaluasi kebugaran setiap solusi. Jaringan saraf dilatih untuk memprediksi kinerja rute jalan raya berdasarkan data historis dan masukan waktu nyata, seperti pola lalu lintas, kondisi lingkungan, dan biaya konstruksi. Prediksi ini memberikan skor kebugaran untuk setiap individu dalam populasi, yang memandu proses seleksi untuk generasi berikutnya.

Operator genetik (crossover dan mutasi) mempengaruhi jaringan saraf dengan terus menghasilkan konfigurasi rute yang baru dan beragam. Seiring berkembangnya GA, GA menyajikan jaringan saraf dengan beragam solusi potensial untuk dievaluasi. Masuknya data yang beragam secara terus-menerus ini membantu jaringan saraf untuk belajar dan beradaptasi dengan lebih efektif, sehingga meningkatkan akurasi prediksinya dari waktu ke waktu. Jaringan saraf, pada gilirannya, memberi tahu GA tentang kualitas solusi, memungkinkan algoritma untuk fokus pada wilayah ruang pencarian yang menjanjikan.

Dengan menggabungkan operator genetik, jaringan saraf dihadapkan pada spektrum solusi potensial yang luas, termasuk rute berperforma tinggi dan suboptimal. Paparan komprehensif ini membantu jaringan saraf untuk mengembangkan pemahaman yang lebih mendalam tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja rute, sehingga meningkatkan kemampuannya untuk memprediksi kesesuaian solusi baru secara akurat. Parameter yang digunakan dalam GA adalah sebagai berikut:

- (1) Jumlah populasi: 100
- (2) Jumlah generasi: 500
- (3) Tingkat crossover: 0,8
- (4) Tingkat mutasi: 0,05

Penerapan pengujian menunjukkan kemampuan model untuk mengoptimalkan desain rute dengan menyeimbangkan waktu perjalanan, biaya konstruksi, dan dampak lingkungan. Hasilnya menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam efisiensi dan keberlanjutan jaringan secara keseluruhan dibandingkan dengan metode desain tradisional.

4 Hasil

4.1 Pembelajaran mendalam berdasarkan algoritma genetika multi-tujuan

Inti dari perancangan optimasi jalan raya adalah

menentukan skema rute terbaik dengan mengoptimalkan teknologi berdasarkan pemenuhan kendala eksternal, sehingga mewujudkan solusi teknologi dan ekonomi yang optimal. Desain rute tidak hanya harus memberikan manfaat ekonomi dan sosial yang optimal, namun juga memenuhi pertimbangan optimal multi-tujuan mengenai keselamatan, perlindungan lingkungan dan estetika. Masalah optimasi multi-tujuan diperlukan

solusi non-dominan atau Pareto dan solusi optimal dalam matematika, yang artinya tidak dapat dibandingkan secara sederhana. Cirinya, perubahan salah satu fungsi tujuan akan mempengaruhi fungsi tujuan lainnya. Jika pemrograman multi-tujuan diubah menjadi pemrograman tujuan tunggal, setiap operasi hanya dapat memiliki satu hasil, dan diperlukan beberapa operasi untuk mendapatkan solusi optimal yang rabun, yang akan menghasilkan sejumlah besar operasi. Algoritma genetika multi-tujuan tidak hanya memenuhi seluruh populasi, tetapi juga menekankan integrasi individu, yang merupakan cara penting untuk memecahkan masalah optimasi multi-tujuan. Jaringan pembelajaran mendalam memiliki karakteristik yang sesuai dengan hubungan sebab akibat antara masukan dan keluaran apa pun, dan cocok untuk menyelesaikan semua jenis masalah nonlinier. Menggabungkan algoritma genetika multi-tujuan dengan pembelajaran mendalam dapat secara efektif menyelesaikan semua jenis masalah nonlinier multi-tujuan.

Algoritma genetika multi-objektif (MOGA) adalah skema optimasi global berdasarkan teori evolusi Darwin, yang cocok untuk menyelesaikan semua jenis masalah yang dibatasi dan tidak dibatasi. Logika dasarnya adalah memilih individu terbaik sebagai tetua untuk menghasilkan keturunan pada setiap iterasi, sehingga populasi dapat diselesaikan ke arah yang optimal. [Gambar 2](#) menunjukkan diagram alir algoritma multi-tujuan. Setiap kali, apakah hasil genetik memenuhi solusi optimal diperiksa. Jika ya, hasilnya adalah output, dan jika tidak, iterasi diulangi.

Inti dari pembelajaran mendalam pelatihan MOGA terletak pada pemetaan jaringan ke kromosom. Dalam mode pengkodean yang ada, parameter jaringan digunakan sebagai elemen kromosom. Namun, dalam jaringan skala besar, metode ini akan membuat struktur menjadi mubazir. Mengambil deep learning network layer dan full link layer sebagai elemen kromosom menjadi pemikiran baru, yang membuat setiap elemen kromosom selalu mengandung bobot koneksi atau nilai filter, sehingga mengurangi struktur kromosom dan memiliki kecepatan konvergensi yang lebih tinggi.

4.2 Model optimasi multi-tujuan rute jalan raya

Masalah optimasi multi-tujuan secara umum dapat digambarkan sebagai penyelesaian $Y = (x_1, x_2, x_3 \dots x_n)$, sebagai Persamaan. 4 Dan 5:

$$G_{\text{Saya}}(x) \leq 0 \text{ saya } 1, 2, 3 \dots m \quad (4)$$

$$H_j(x) \leq 0 \text{ j } 1, 2, 3 \dots n \quad (5)$$

Jika terdapat batasan R dan tujuan penyelesaian Q, dan tujuan penyelesaian Q mengandung faktor-faktor tertentu yang bertentangan, tujuan optimasi dinyatakan sebagai $f(Y) = \{f_1(Y), f_2(Y), f_3(Y) \dots f_Q(Y)\}$, dan $f(Y^*)$ dapat dipenuhi jika solusi optimalnya adalah $\{x_1^*, x_2^*, x_3^* \dots x_n^*\}$. Saat menetapkan suatu fungsi, sering kali diasumsikan bahwa

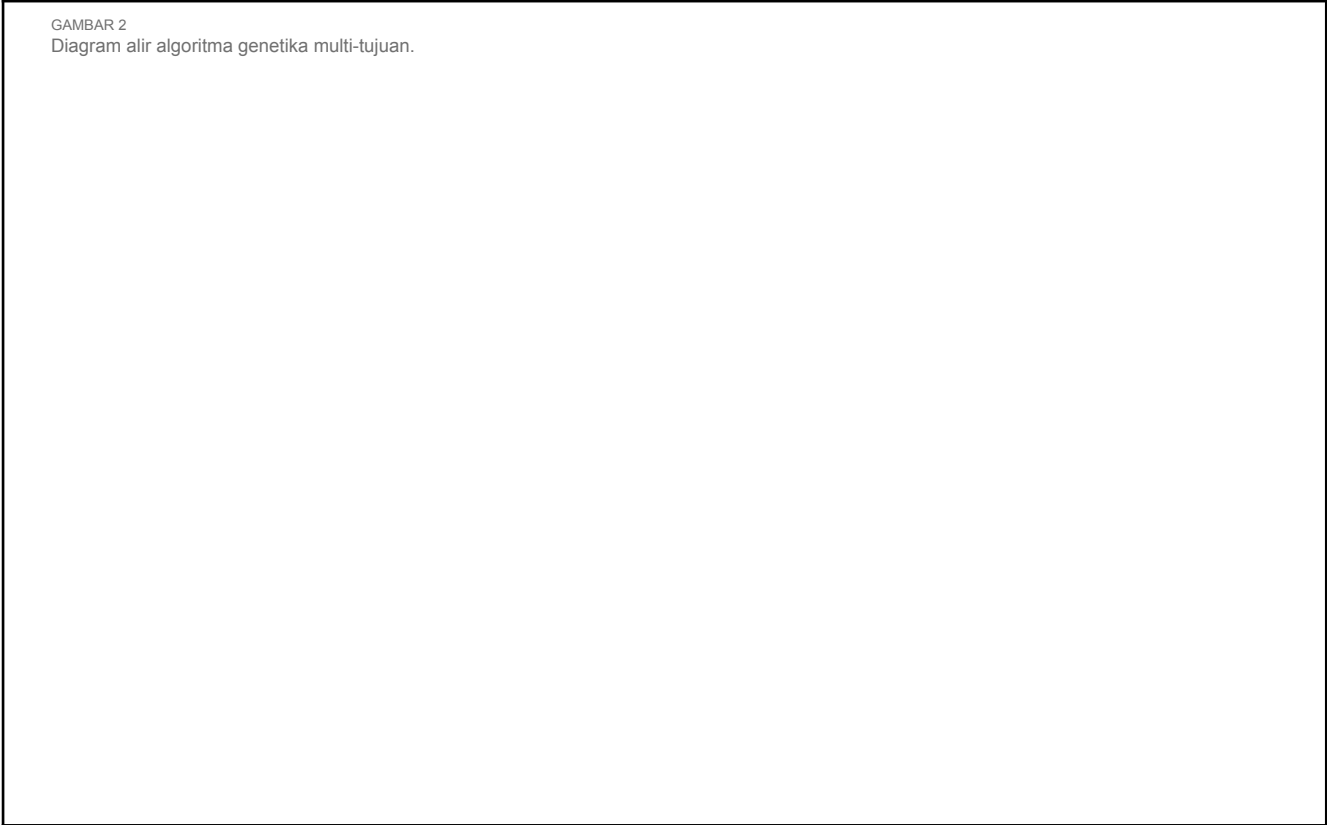
biaya atau risiko terendah adalah nilai solusi. Jika nilai solusi berlawanan arah, maka dapat diubah menjadi nilai minimum, dan fungsi tujuan dapat dinyatakan sebagai Persamaan. 6:

menit $Y(\cdot)$ menit $f_1(\cdot)$ kamu, $f_1(\cdot)$ kamu, $f_3(\cdot)$ $Y \dots f_Q(\cdot)$

) DAN (6) Solusi optimal dapat dinyatakan sebagai Persamaan. 7:

$P^* \{ \cdot \} Y^* X' \in \Omega, f_j X(\cdot) \leq f_j(\cdot) X, j = 1, 2, 3 \dots Q \quad (7)$

GAMBAR 2
Diagram alir algoritma genetika multi-tujuan.



GAMBAR 3
Model pembelajaran mendalam berdasarkan optimasi multi-tujuan.



Himpunan semua solusi yang tidak didominasi disebut himpunan tidak didominasi (NDSET) dari populasi evolusioner saat ini. Melalui solusi berulang, NDSET terus-menerus mendekati solusi optimal, dan akhirnya

memenuhi persyaratan berikut, seperti Persamaan. 8:

NDSET $f Y(\cdot)^*$ (8)
Gambar 3 menunjukkan model sistem jaringan pembelajaran mendalam berdasarkan pelatihan algoritma genetika multi-objektif yang diterapkan pada optimasi

perencanaan rute jalan raya, di mana sistem desain pakar sebagai dasar dasar dan referensi bobot, dan kemudian dan hasil evaluasi berbagai indeks desain nasional dan pemodelan kuantitatif digital spesifikasi keselamatan pada hasil survei rute digunakan

GAMBAR 4
Fungsi tujuan optimasi yang berbeda.

dilakukan untuk setiap indeks, dan bobot data serta hasil evaluasi dikirim ke model pembelajaran mendalam untuk menyelesaikan penelitian optimasi multitujuannya, sehingga diperoleh skema rute jalan raya yang optimal.

4.3 Optimalkan fungsi tujuan

Pengoptimalan multi-tujuan konvensional adalah mengevaluasi semua indeks secara kuantitatif dengan mengambil indeks tertentu sebagai indeks setara umum, dan melakukan penelitian pengoptimalan dalam lingkungan indeks ini, seperti menggunakan indeks ekonomi sebagai konversi setara dalam aspek keselamatan, perlindungan lingkungan, teknologi, dan lainnya. , dan akhirnya membentuk model evaluasi variabel, namun model ini dipengaruhi oleh konversi indeks yang setara. Dengan menggunakan algoritma optimasi multi-tujuan, beberapa fungsi tujuan dapat digabungkan secara langsung dan hasil optimasi yang ideal dapat diperoleh. Berikut ini terutama menjelaskan tiga tujuan pengoptimalan: keselamatan, biaya konstruksi, dan bencana geologi.

Keselamatan jalan raya merupakan pertimbangan utama dalam perancangan jalan raya, khususnya di daerah pegunungan di barat daya Tiongkok. Persyaratan keselamatan mengacu pada Panduan nasional JTG/TB-2014 untuk Evaluasi Keselamatan Proyek Jalan Raya, dan keselamatan ruas jalan yang sedang dibangun dievaluasi. Persentase ruas jalan yang dinilai "baik" adalah p_1 , persentase ruas jalan yang dinilai "baik" adalah p_2 , dan hasil evaluasi lainnya adalah $p_3 \dots p_n$ secara bergantian. Fungsi tujuan adalah Persamaan. 9:

$$\text{ayahku}_S() \times w_1 \cdot P_1 + w_2 \cdot P_2 + w_3 \cdot P_3 + \dots \text{masuk}_N \cdot P_N \quad (9)$$

Dimana $w_1 \dots w_n$ mewakili koefisien dampak keselamatan sesuai dengan persentase yang berbeda.

Biaya konstruksi merupakan pertimbangan penting dalam proyek konstruksi, dan total biayanya merupakan jumlah aritmatika dari biaya seluruh bagian. Mengingat pembangunan jalur terkait, total biaya pembangunan jalan raya sebagai Persamaan. 10:

$$\text{menit}_{\text{Dan}}() \times \text{Biaya } t_{\text{yang itu}} + \text{Biaya } t_{\text{caa}} + \text{Biaya } t_{\text{cc}} + \text{Biaya } t_s + \text{Biaya } t_c \quad (10)$$

Diantaranya, Costew mewakili Pekerjaan Tanah, Costcaa mewakili cakupan area, Costcc mewakili konstruksi sipil, Biaya mewakili tanah dasar, dan Costc mewakili perawatan.

Dalam penilaian bahaya geologi, satuan panjang garis (misalnya 1 km) dan jarak tertentu di kedua sisi garis sering digunakan sebagai satuan penilaian (Gambar 4). Menurut standar evaluasi survei geologi dan artikel terkait, risiko bencana geologi dibagi menjadi beberapa tingkatan menurut derajat yang berbeda-beda, seperti risiko kecil, sedang, sedang-tinggi, tinggi, dll, yang proporsinya dicatat sebagai $N_1, N_2 \dots N_n$, dan deskripsi fungsinya adalah Persamaan. 11:

$$\text{ayahku}_D() \times b_1 \cdot N_1 + b_2 \cdot N_2 + \dots b_n \cdot N_n \quad (11)$$

Dimana, $b_1 \dots b_n$ mewakili bobot risiko sesuai dengan persentase yang berbeda.

4.4 Uji jaringan dan parameternya

Jaringan pengujian terdiri dari model sistem jalan raya yang disederhanakan dengan medan, kondisi lalu lintas, dan kendala lingkungan yang bervariasi. Parameter jaringan meliputi:

- (1) Jumlah node: 50
- (2) Jumlah tepi: 120
- (3) Rata-rata arus lalu lintas: 2000 kendaraan per jam
- (4) Zona sensitif lingkungan: 10% dari total luas

Fungsi kebugaran dirancang untuk mengevaluasi setiap solusi berdasarkan waktu perjalanan, biaya konstruksi, dan dampak lingkungan. Hasilnya dibandingkan dengan metode perencanaan rute tradisional untuk menilai peningkatan yang dicapai oleh model yang diusulkan.

Aplikasi pengujian menunjukkan kemampuan model untuk mengoptimalkan desain rute dengan menyeimbangkan waktu perjalanan, biaya konstruksi, dan dampak lingkungan. Hasilnya menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam efisiensi dan keberlanjutan jaringan secara keseluruhan dibandingkan dengan metode desain tradisional. (Tabel 3).

Hasil awal ini menyoroti efektivitas pengintegrasian

pembelajaran mendalam dan algoritma genetika dalam optimalisasi rute jalan raya. Model berhasil mengidentifikasi rute tersebut

TABEL 3 Ringkasan hasil.

--	--	--

Waktu Perjalanan Rata-rata Pengurangan	15	0,4
Penghematan Biaya Konstruksi	12	0,3
Pengurangan dalam Dampak Lingkungan	18	0,3

Perbatasan di [Transportasi Masa Depan 10 frontiersin.org](#)
Zhang 10.3389/ffutr.2024.1430509

TABEL 4 Hasil perbandingan rute yang diidentifikasi dengan metode tradisional dan model yang direkomendasikan.

Waktu Perjalanan	Relatif pendek, mengutamakan jarak terpendek	Lebih lama karena menghindari medan yang mahal	Dioptimalkan untuk mengurangi waktu perjalanan keseluruhan sebesar 15%
Biaya Konstruksi	Sedang, karena tidak sepenuhnya memperhitungkan biaya medan	Lebih rendah, fokus pada minimalisasi biaya	Mengurangi 12% dibandingkan dengan metode tradisional
Lingkungan Dampak	Lebih tinggi, karena mungkin melewati zona sensitif	Sedang, dengan mempertimbangkan sebagian zona sensitif	Diminimalkan sebesar 18%, menghindari zona sensitif

menawarkan perbaikan besar dibandingkan metode tradisional, mencapai optimalisasi yang seimbang di berbagai tujuan.

4.5 Uji analisis rute jaringan

Untuk mengilustrasikan keefektifan model yang diusulkan, kami akan membandingkan rute yang diidentifikasi oleh model yang diusulkan dengan rute yang diidentifikasi melalui metode tradisional. Metode tradisional dalam optimasi rute jalan raya biasanya mencakup pendekatan heuristik dan teknik pemrograman linier. Metode-metode ini, meskipun berguna dalam konteks tertentu, sering kali gagal dalam mengatasi sifat optimasi rute jalan raya yang kompleks dan multi-tujuan.

(1) Metode tradisional

① Rute A (Pendekatan Heuristik)

Pendekatan heuristik dalam optimasi rute melibatkan strategi berbasis aturan atau pengetahuan ahli untuk menentukan rute yang layak. Metode-metode ini sering kali hanya memprioritaskan satu tujuan, seperti meminimalkan waktu perjalanan atau biaya konstruksi, tanpa mempertimbangkan konteks yang lebih luas. Misalnya, pendekatan heuristik mungkin berfokus pada pencarian rute sesingkat mungkin untuk mengurangi waktu perjalanan, dengan mengabaikan faktor penting lainnya seperti dampak lingkungan atau kesulitan medan. Fokus yang sempit ini dapat menghasilkan solusi yang kurang optimal, yaitu perbaikan di satu bidang diimbangi dengan kelemahan signifikan di bidang lain. Selain itu, metode heuristik tidak memiliki fleksibilitas untuk beradaptasi dengan pola lalu lintas yang dinamis dan kendala lingkungan yang terus berkembang, sehingga kurang efektif dalam penerapan dunia nyata di mana berbagai tujuan, yang sering kali bertentangan, harus diseimbangkan.

Rute ini mengutamakan jarak terpendek untuk meminimalkan waktu tempuh. Meskipun efektif dalam mengurangi durasi perjalanan, hal ini sering kali mengabaikan biaya konstruksi dan dampak lingkungan. Misalnya, Rute A mungkin melintasi zona sensitif terhadap lingkungan, sehingga menyebabkan kerusakan ekologi jangka panjang yang lebih tinggi dan potensi tantangan peraturan. Fokus tujuan tunggal pendekatan heuristik membatasi kemampuannya untuk memberikan solusi holistik.

② Rute B (Pemrograman linier)

Teknik pemrograman linier memecahkan masalah optimasi dengan memodelkannya sebagai hubungan linier. Metode-metode ini bisa sangat efektif untuk jenis permasalahan tertentu, khususnya permasalahan yang memiliki batasan dan tujuan linier yang terdefinisi dengan baik. Namun, keterbatasan yang melekat pada pemrograman linier menjadi jelas dalam konteks optimalisasi rute jalan raya, yang melibatkan tantangan nonlinier dan multiobjektif. Misalnya saja pendekatan pemrograman linier

mungkin berhasil meminimalkan biaya konstruksi dengan memilih rute yang menghindari medan yang mahal, namun hal ini sering kali mengakibatkan waktu perjalanan lebih lama dan dampak lingkungan yang lebih tinggi. Kekakuan model program linier menyulitkan penggabungan interaksi kompleks antara berbagai tujuan, seperti trade-off antara biaya, waktu perjalanan, dan kelestarian lingkungan.

Rute ini berfokus pada meminimalkan biaya konstruksi, seringkali dengan menghindari medan yang mahal. Meskipun hal ini dapat menghemat biaya secara signifikan, hal ini sering kali mengakibatkan waktu perjalanan yang lebih lama dan peningkatan dampak terhadap lingkungan. Rute B dapat melewati daerah perbukitan atau perairan, sehingga memperpanjang panjang rute dan waktu tempuh. Selain itu, rute yang lebih panjang mungkin melewati

beberapa kawasan yang sensitif terhadap lingkungan, sehingga semakin mempersulit kelayakannya.

(2) Rute C (model terintegrasi)

Model yang diusulkan mengintegrasikan pembelajaran mendalam dengan algoritma genetika untuk mengatasi keterbatasan metode tradisional. Pendekatan hibrid ini secara bersamaan mengoptimalkan berbagai tujuan, menawarkan solusi yang lebih seimbang dan komprehensif. Algoritma pembelajaran mendalam menganalisis sejumlah besar data historis dan real-time untuk memprediksi pola lalu lintas, dampak lingkungan, dan biaya konstruksi. Prediksi ini kemudian dimasukkan ke dalam algoritma genetika, yang secara berulang mengembangkan populasi rute potensial untuk menemukan keseimbangan optimal antara tujuan-tujuan yang bersaing. Dengan mempertimbangkan berbagai faktor dan memanfaatkan teknik pembelajaran mesin yang canggih, model yang diusulkan dapat beradaptasi secara dinamis terhadap perubahan kondisi dan kendala, sehingga memberikan solusi pengoptimalan rute yang lebih kuat dan berkelanjutan.

Rute ini mewakili solusi optimal yang dihasilkan oleh model yang diusulkan, menyeimbangkan waktu perjalanan,

biaya konstruksi, dan dampak lingkungan. Rute C menunjukkan pengurangan waktu perjalanan sebesar 15%, pengurangan biaya konstruksi sebesar 12%, dan pengurangan dampak lingkungan sebesar 18% dibandingkan dengan metode tradisional. Model terintegrasi ini mempertimbangkan pola lalu lintas yang dinamis, menyesuaikan dengan data lingkungan waktu nyata, dan menggunakan algoritma genetika untuk mengeksplorasi berbagai kemungkinan rute, memastikan bahwa rute yang dipilih tidak hanya hemat biaya tetapi juga ramah lingkungan. Pendekatan holistik ini menghasilkan jaringan jalan raya yang lebih efisien dan berkelanjutan, mengatasi berbagai tantangan perencanaan infrastruktur modern.

Perbandingan tersebut menyoroti keunggulan model yang diusulkan dibandingkan metode tradisional. (Tabel 4). Dengan mengintegrasikan pembelajaran mendalam dan algoritma genetika, model yang diusulkan memberikan solusi yang lebih komprehensif dan adaptif untuk optimasi rute jalan raya. Metode tradisional sering kali unggul dalam bidang tertentu tetapi gagal menyeimbangkan berbagai tujuan secara efektif. Sebaliknya, kemampuan model yang diusulkan untuk mengoptimalkan berbagai parameter menghasilkan rute yang tidak hanya lebih pendek dan lebih murah namun juga tidak terlalu berbahaya bagi lingkungan.

Perbatasan di [Transportasi Masa Depan 11 frontiersin.org](https://doi.org/10.3389/ffutr.2024.1430509)
Zhang 10.3389/ffutr.2024.1430509

berfokus pada penyeimbangan beberapa tujuan yang saling bertentangan, termasuk waktu perjalanan, biaya konstruksi, dan dampak lingkungan. Pendekatan multi aspek ini memastikan bahwa rute yang diusulkan tidak hanya efisien namun juga layak secara ekonomi dan ramah lingkungan.

- (4) Adaptasi Dinamis: Model yang diusulkan menggabungkan pola lalu lintas dinamis dan data lingkungan waktu nyata, sehingga memungkinkan model tersebut beradaptasi terhadap perubahan kondisi. Kemampuan ini meningkatkan keakuratan dan keandalan model, sehingga cocok untuk aplikasi dunia nyata dengan kondisi yang terus berubah.
- (5) Metrik Evaluasi Komprehensif: Penelitian ini menggunakan fungsi kebugaran terperinci yang mengevaluasi setiap rute berdasarkan beberapa kriteria. Evaluasi komprehensif ini memastikan bahwa rute yang dipilih mengoptimalkan waktu perjalanan, meminimalkan biaya konstruksi, dan mengurangi dampak lingkungan.

5.2 Kemajuan lebih lanjut

Penelitian di masa depan harus fokus pada penerapan model ini pada jaringan jalan raya yang lebih besar dan kompleks untuk memvalidasi skalabilitas dan efektivitasnya. Mengembangkan model perilaku pengguna yang lebih canggih yang mempertimbangkan faktor tambahan seperti preferensi individu, kondisi cuaca, dan insiden lalu lintas dapat meningkatkan akurasi dan keandalan model.

- (1) Skalabilitas dan Kompleksitas: Meskipun model yang diusulkan menunjukkan hasil yang menjanjikan pada jaringan jalan raya yang disederhanakan, skalabilitasnya pada jaringan yang lebih besar dan kompleks memerlukan validasi lebih lanjut. Penelitian di masa depan harus fokus pada pengujian

5 Kesimpulan

5.1 Inovasi

Makalah ini menyajikan pendekatan komprehensif untuk optimasi rute jalan raya dengan mengintegrasikan pembelajaran mendalam dan algoritma genetika multi-tujuan. Dengan menggabungkan pemodelan perilaku pengguna dan tujuan keberlanjutan, model yang diusulkan menawarkan solusi realistis dan efektif untuk optimalisasi rute jalan raya.

- (1) Integrasi Pembelajaran Mendalam dengan Algoritma Genetika: Makalah ini memperkenalkan pendekatan baru yang mengintegrasikan pembelajaran mendalam dengan algoritma genetika multi-objektif (MOGA). Integrasi ini memanfaatkan kekuatan kedua teknik tersebut, sehingga memungkinkan proses pengoptimalan yang lebih komprehensif dan adaptif. Model pembelajaran mendalam memberikan kemampuan prediksi yang kuat, sementara algoritma genetika secara efisien mengeksplorasi dan mengoptimalkan ruang pencarian.
- (2) Pemodelan Perilaku Pengguna: Dimasukkannya pemodelan perilaku pengguna menggunakan model utilitas acak (RUM) menambah lapisan realisme pada proses pengoptimalan. Dengan menyimulasikan perilaku pemilihan rute pengguna berdasarkan kegunaan yang dirasakan, model ini lebih selaras dengan preferensi dan perilaku pengguna sebenarnya, sehingga menghasilkan volume lalu lintas yang lebih tinggi dan pemanfaatan rute yang diusulkan lebih baik.
- (3) Tujuan Keberlanjutan: Berbeda dengan metode optimasi tujuan tunggal tradisional, penelitian ini

model jaringan dunia nyata yang luas untuk memastikan efektivitas dan efisiensi dalam beragam skenario.

- (2) Model Perilaku Pengguna yang Ditingkatkan: Model saat ini menggabungkan pemodelan perilaku pengguna dasar. Namun, preferensi pengguna dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk preferensi individu, kondisi cuaca, dan insiden lalu lintas. Mengembangkan model perilaku pengguna yang lebih canggih yang mempertimbangkan faktor-faktor tambahan ini dapat meningkatkan akurasi prediksi model.
- (3) Implementasi dan Validasi di Dunia Nyata: Penerapan model dalam proyek di dunia nyata sangat penting untuk menilai kegunaan praktisnya. Proyek percontohan dan studi kasus harus dilakukan untuk mengumpulkan data empiris dan menyempurnakan model berdasarkan masukan dari dunia nyata. Langkah ini penting untuk menjembatani kesenjangan antara penelitian teoritis dan implementasi praktis.
- (4) Integrasi Data Tingkat Lanjut: Integrasi sumber data tingkat lanjut, seperti citra satelit resolusi tinggi, data lalu lintas waktu nyata, dan sensor lingkungan, dapat semakin meningkatkan akurasi model. Penelitian di masa depan harus mencari cara untuk menggabungkan sumber data ini secara efektif, sehingga menyediakan kumpulan data yang lebih kaya untuk model pembelajaran mendalam.
- (5) Kolaborasi Interdisipliner: Kompleksitas optimalisasi rute jalan raya memerlukan kolaborasi lintas disiplin ilmu, termasuk teknik transportasi, ilmu lingkungan, dan ilmu komputer. Mempromosikan penelitian interdisipliner dapat menghasilkan solusi yang lebih inovatif dan pendekatan holistik terhadap perencanaan

dan pembangunan infrastruktur.

Pernyataan ketersediaan data

Kontribusi asli yang disajikan dalam penelitian ini disertakan dalam artikel/Materi Tambahan, pertanyaan lebih lanjut dapat diarahkan ke penulis terkait.

Kontribusi penulis

JZ: Penulisan—draf asli, Penulisan—review dan editing.

Pendanaan

Penulis menyatakan bahwa tidak ada dukungan finansial yang diterima untuk penelitian, penulisan, dan/atau publikasi artikel ini.

Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus kepada teknik-teknik yang telah berkontribusi pada penelitian ini.

Konflik kepentingan

Penulis JZ dipekerjakan oleh CCCC First Highway Consultants Co., Ltd.

Catatan penerbit

Semua klaim yang diungkapkan dalam artikel ini adalah sepenuhnya milik penulis dan tidak mewakili afiliasi mereka

Referensi

- Banister, D. (2001) "Perencanaan Transportasi," dalam Perencanaan Transportasi. Emerald Group Publishing Terbatas, Jil. 3, 9–19. doi:10.1108/9781615832460-002
- Beasley, JE (1993). Teknik Heuristik Modern untuk Masalah kombinatorial. Hoboken, NJ: Prentice Hall.
- Billheimer, JW, dan Gray, P. (1973). Desain Jaringan dengan Elemen Biaya Tetap dan Variabel. Trans. Sains. 7 (1), 49–74. doi:10.1287/trsc.7.1.49
- Bongiorno, N., Bosurgi, G., Carbone, F., Pellegrino, O., dan Sollazzo, G. (2019). Potensi metode optimasi alinyemen jalan raya di lingkungan I-BIM. Periode. Politeknik. sipil. bahasa Inggris 63 (2), 352–361. doi:10.3311/ppci.12220
- Cantarella, GE, Pavone, G., dan Vitetta, A. (2006). Heuristik untuk desain jaringan jalan perkotaan: tata letak jalur dan pengaturan sinyal. euro. J. Res Operasional. 175 (3), 1682–1695. doi:10.1016/j.ejor.2005.02.034
- Cantarella, GE, dan Vitetta, A. (2006). Masalah desain jaringan jalan multi-kriteria di kawasan perkotaan. Transportasi 33, 567–588. doi:10.1007/s11116-006-7908-z
- Cascetta, E. (2009). Analisis sistem transportasi: model dan aplikasi. Berlin, Jerman: Springer Science & Business Media.
- Cascetta, E., Carteni, A., Pagliara, F., dan Montanino, M. (2015). Pandangan baru dalam perencanaan dan perancangan sistem transportasi: Model pengambilan keputusan berdasarkan rasionalitas kognitif, keterlibatan
- Perbatasan di [Transportasi Masa Depan](#) 12 [frontiersin.org](#)
Zhang 10.3389/ffutr.2024.1430509
- pemangku kepentingan, dan metode kuantitatif. Trans. kebijakan 38, 27–39. doi:10.1016/j.tranpol.2014.11.005
- Chiou, SW (2024). Optimalisasi Pembelajaran Penguatan Berbantuan Pengetahuan untuk Masalah Desain Jaringan Jalan dalam Ketidakpastian. Sistem Berbasis Pengetahuan. 292, 111614. doi:10.1016/j.knosys.2024.111614
- Coley, DA (1999). Pengantar Algoritma Genetika untuk Ilmuwan dan Insinyur. Ilmu Pengetahuan Dunia.
- Comi, A., dan Polimeni, A. (2022). Memperkirakan Model Pilihan Jalur Melalui Data Mobil Terapung. Peramalan 4 (2), 525–537. doi:10.3390/perkiraan4020029
- Davis, C., dan Jha, MK (2011). Pendekatan Pemodelan Dinamis untuk Menyelidiki Dampak terhadap Masyarakat yang Dilindungi dan Berpenghasilan Rendah dalam Perencanaan Jalan Raya. Trans. Res. Bagian A Praktik Kebijakan. 45 (7), 598–610. doi:10.1016/j.tra.2011.03.011
- Deng, Y., Ma, R., dan Zhang, HM (2017). Prosedur Perencanaan Jaringan Jalan Raya Berbasis Optimasi dengan Probabilitas Pertumbuhan Link. Trans. Sebuah Trans. Sains. 13 (8), 708–726. doi:10.1080/23249935.2017.1321697
- Di Gangi, M., dan Polimeni, A. (2022). Model Pilihan Jalur dalam Penugasan Stokastik: Implementasi dan Analisis Komparatif. Depan. Transp Masa Depan. 3, 885967. doi:10.3389/ffutr.2022.885967
- Fangqu, N., dan Jun, L. (2019). Memvisualisasikan Jaringan Jalan Raya Antar Kota di Daratan Tiongkok. Mengepung. Rencana. Sebuah Ekon. Ruang 51 (6), 1213–1216. doi:10.1177/0308518x18806004
- Gao, Z., Wu, J., dan Sun, H. (2005). Algoritma Solusi untuk Masalah Desain Jaringan Diskrit Bi-Level. Trans. Res. Bagian B Metodologi. 39 (6), 479–495. doi:10.1016/j.trb.2004.06.004
- Goldberg, DE (1988). Algoritma Genetika dalam Pencarian, Optimasi, dan Pembelajaran Mesin. etnogr. Konferensi Industri Praksis. Proses. 9 (2).
- Han, J., Cheng, H., Shi, Y., Wang, L., Song, Y., dan Zhnag, W. (2016). Analisis Konektivitas dan Penerapan Reservoir Karbonat Gua Rekahan di Tazhong. Sains. Teknologi. bahasa Inggris 16 (5), 147–152.
- Hinton, GE, Osindero, S., dan Teh, YW (2006). Algoritma Pembelajaran cepat untuk Deep Belief Nets. Komputasi Neural. 18 (7), 1527–1554. doi:10.1162/neco.2006.18.7.1527

Hou, ZK, Cheng, HL, Sun, SW, Chen, J., Qi, DQ, dan Liu, ZB (2019). Perambatan Retak dan Rekahan Hidraulik pada Litologi Berbeda. Aplikasi. Geofisika. 16 (2), 243–251. doi:10.1007/s11770-019-0764-3

Huang, W., Lagu, G., Hong, H., dan Xie, K. (2018). Arsitektur Mendalam untuk Prediksi Arus Lalu Lintas: Jaringan Keyakinan Mendalam dengan Pembelajaran Multitask. IEEE Trans. Transp Cerdas. sistem. 15 (5), 2191–2201. doi:10.1109/payudara.2014.2311123

Jesus, M., Akyildiz, S., Bish, DR, dan Krueger, DA (2011). Optimalisasi Strategi Pembaruan Pemeliharaan Perkerasan Tingkat Jaringan. Adv. bahasa Inggris Inf. 25 (4), 699–712. doi:10.1016/j.aei.2011.08.002

organisasi, atau penerbit, editor, dan pengulas. Produk apa pun yang mungkin dievaluasi dalam artikel ini, atau klaim yang mungkin dibuat oleh produsennya, tidak dijamin atau didukung oleh penerbit.

Jha, MK (2001). Menggunakan Sistem Informasi Geografis untuk Pengambilan Keputusan Otomatis dalam Analisis Biaya Jalan Raya. Trans. Res. Rek. 1768 (1), 260–267. doi:10.3141/1768-30

Jha, MK, dan Kim, E. (2006). Optimalisasi Jalur Jalan Raya Berdasarkan Aksesibilitas, Kedekatan, dan Perubahan Tata Guna Lahan. J.Transp. bahasa Inggris 132 (5), 435–439. doi:10.1061/(naik) 0733-947x(2006)132:5(435)

Jha, MK, dan Schonfeld, P. (2000). Analisis Biaya Hak Jalan untuk Optimalisasi Jalan Raya Berbasis Sistem Informasi Geografis. Trans. Res. Rek. 1719 (1), 241–249. doi:10.3141/1719-32

Jha, MK, dan Schonfeld, P. (2004). Model Optimalisasi Alignment Jalan Raya Menggunakan Sistem Informasi Geografis. Trans. Res. Bagian A Praktik Kebijakan. 38 (6), 455–481. doi:10.1016/j.tra.2004.04.001

Kang, MW, Jha, MK, dan Schonfeld, P. (2012). Penerapan Model Optimalisasi Alignment Jalan Raya. Trans. Res. Bagian C Muncul. Teknologi. 21 (1), 257–286. doi:10.1016/j.trc.2011.09.006

Krizhevsky, A., Sutskever, I., dan Hinton, GE (2012). “Klasifikasi ImageNet dengan Jaringan Neural Konvolusional Dalam,” dalam Kemajuan Sistem Pemrosesan Informasi Neural, 25.

Li, Y., Fan, J., dan Deng, H. (2018). Analisis Perbedaan Regional dan Korelasi Antara Perkembangan Lalu Lintas Jalan Raya dan Pembangunan Ekonomi di Tiongkok. Trans. Res. Rek. 2672 (3), 12–25. doi:10.1177/0361198118790373

Li, Y., dan Zhao, H. (2020). Metode Optimalisasi Cerdas pada Rute Penjemputan Taksi Berdasarkan Algoritma Genetika dan Optimalisasi Koloni

Semut. Trans. Res. Bagian C Muncul. Teknologi. 115, 102628.

Lin, KC (2011). Perkembangan Jaringan Jalan di Tiongkok: Inkonsekuensi dan Ketimpangan. Putaran. Int. Politik. Komp. 18(3), 151–179. doi:10.3917/ripc.183.0151

Liu, J., Xie, X., dan Zhang, Y. (2021). Optimalisasi Multi-Tujuan untuk Perencanaan Transportasi Berkelanjutan: Pendekatan Terintegrasi Menggunakan Algoritma Genetika dan Jaringan Syaraf Tiruan. Mempertahankan. Perkumpulan Kota. 66, 102688.

Liu, Z. (1997). Jalan Raya Super Informasi Tiongkok: Tujuan, Arsitektur, dan Permasalahannya. Elektron. Tanda. 7 (4), 45–50. doi:10.1080/10196789700000049

Madadi, B., dan Correia, GHDA (2023). Kerangka Metaheuristik Pembelajaran Mendalam Hibrid untuk Masalah Desain Jaringan Dua Tingkat. Tersedia di SSRN 4470984.

Madadi, B., van Nes, R., Snelder, M., dan Van Arem, B. (2020). Model Dua Tingkat untuk Mengoptimalkan Jaringan Jalan untuk Campuran Mengemudi Manual dan Otomatis: Algoritma Pencarian Lokal yang Evolusioner. Sipil Berbantuan Komputer. Infrastruktur Eng. 35 (1), 80–96. doi:10.1111/tikus.12498

Maji, A., dan Jha, MK (2009). Optimalisasi Alignment Jalan Raya Multi Objektif Menggunakan Algoritma Genetika. J.Adv. Trans. 43 (4), 481–504. doi:10.1002/at. 5670430405

Mohammadi, J., Guralnick, SA, dan Yan, L. (1995). Memasukkan Biaya Siklus Hidup dalam Perencanaan dan Desain Jembatan Jalan Raya. J.Transp. bahasa Inggris 121 (5), 417–424. doi:10.1061/(naik)0733-947x(1995)121:5(417)

Russo, F., dan Rindone, C. (2021). Rencana Transportasi Regional: Dari Peran Arah yang Ditolak hingga Aturan Umum yang Diidentifikasi. Keberlanjutan 13 (16), 9052. doi:10.3390/su13169052

Russo, F., dan Vitetta, A. (2006). Metode Topologi untuk Memilih Solusi Optimal Setelah Menyelesaikan Masalah Desain Jaringan Jalan Perkotaan Multi-Kriteria. Transportasi 33, 347–370. doi:10.1007/s11116-005-3507-7

Sabatino, S., Frangopol, DM, dan Dong, Y. (2015). Optimalisasi Pemeliharaan Jembatan Jalan Raya Berdasarkan Keberlanjutan Mempertimbangkan Utilitas Multi-Atribut dan Sikap Risiko. bahasa Inggris Struktur. 102, 310–321. doi:10.1016/j.engstruct. 2015.07.030

Şetinc, M., Gradišar, M., dan Tomat, L. (2015). Optimalisasi Perencanaan Proyek Jalan Raya Menggunakan Algoritma Genetika yang Dimodifikasi. Optimalisasi 64 (3), 687–707.

Shanmugasundaram, N., Sushita, K., Kumar, SP, dan Ganesh, EN (2019). Perancangan Jaringan Jalan Berbasis Algoritma Genetika untuk Optimalisasi Jarak Perjalanan Kendaraan. Int. J.Veh. Inf. Komunitas. sistem. 4 (4), 344–354. doi:10.1504/ijvics.2019. 10025633

Perbatasan di [Transportasi Masa Depan 13 frontiersin.org](https://doi.org/10.3389/ffutr.2024.1430509)
Zhang 10.3389/ffutr.2024.1430509

Bahasa Inggris Industri. 139, 105790.

Xu, T., Wei, H., dan Hu, G. (2009). Kajian Masalah Continuous Network Design Menggunakan Simulated Annealing dan Genetic Algorithm. Sistem Pakar. Aplikasi. 36 (2), 1322–1328. doi:10.1016/j.eswa.2007.11.023

Zhang, X., Yang, Y., dan Sun, Y. (2019). Integrasi Algoritma Genetika dan Jaringan Syaraf Tiruan untuk Optimalisasi Alignment Jalan Raya. Trans. Res. Bagian C Muncul. Teknologi. 104, 84–95.

Zhang, G., dan Jian, LU (2007). Algoritma Genetika untuk Masalah Desain Jaringan Berkelanjutan. J.Transp. sistem. bahasa Inggris Inf. Teknologi. 7 (1), 101–105. doi:10.1016/s1570-6672(07)60012-9

Zhu, W., Liu, K., Wang, M., dan Koks, EE (2020). Penilaian Risiko Seismik pada Jaringan Kereta Api di Daratan Tiongkok. Int. J. Ilmu Resiko Bencana. 11 (4), 452–465. doi:10. 1007/s13753-020-00292-9

Solanki, RS, Gorti, JK, dan Southworth, F. (1998). Menggunakan Dekomposisi dalam Desain Jaringan Jalan Raya Skala Besar dengan Heuristik Quasi-Optimization. Trans. Res. Bagian B Metodologi. 32 (2), 127–140. doi:10.1016/s0191-2615(97) 00020-9

Turner, DW, dan Miles, DE (1971). Lokasi Rute Regional Berbantuan Komputer. Tinggi. Res. Rek. 356, 1–12.

Wisnuraj, RG, dan Vishak, MS (2017). Optimalisasi Sumber Daya dalam Pembangunan Jalan Raya. Int. J.Eng. Kelola. Res. (IJEMR) 7 (2), 106–110.

Wang, H., Huang, W., dan Yu, X. (2020). Optimalisasi Hibrid Rute Jalan Raya Menggunakan Algoritma Genetika dan Pembelajaran Mendalam. Hitung.

