بسم الله الرحمن الرحيم

١٤٩٤٤٣

دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده علوم ریاضی
گروه ریاضی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد ریاضی کاربردی

روش‌های تقریبی در بهینه‌سازی

شبکه‌های بی‌سیم

پژوهشگر

نسترن رحمانی

استاد راهنما

دکتر کاوه شیبانی

استاد مشاور

دکتر چنگیز اصلاح‌چی

مهر ۱۳۸۹

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران
IRANDOC
مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
۱۴۹۴۴۳
۱۳۸۹/۱۰/۱۹

کلیه‌ی حقوق اعم از چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه، اقتباس و ...

از این پایان‌نامه برای دانشگاه شهید بهشتی محفوظ است.

نقل مطالب با ذکر مأخذ بلامانع است.

تاریخ .....
شماره .....
پیوست.....

دانشگاه شهید بهشتی

«بسمه تعالی»

«صورتجلسه دفاع از پایان نامه دانشجویان دوره کارشناسی ارشد»

تهران ۱۹۸۳۹۶۳۱۱۳ اوین
تلفن: ۲۹۹۰۱

بازگشت به مجوز دفاع شمارهٔ ۲۰۰/۳۳۴۳/د مورخ ۸۹/۶/۳۰ جلسه هیأت داوران ارزیابی پایان نامه: خانم نسترن رحمانی

شماره شناسنامه: ۲۱۹۳۵ صادره از: تهران متولد: ۱۳۶۵ دانشجوی دوره کارشناسی ارشد: ریاضی کاربردی

با عنوان:

روش‌های تقریبی در بهینه سازی شبکه‌های بی‌سیم

به راهنمایی:

آقای دکتر کاوه شیبانی

طبق دعوت قبلی در تاریخ ۸۹/۷/۴ تشکیل گردید و بر اساس رأی هیأت داوری و با عنایت به ماده ۲۰ آئین نامه کارشناسی ارشد مورخ ۷۵/۱۰/۲۵ پایان نامه مزبور با نمره نوزده و نیم ۱۹/۵ ــــ ع درجه عالی مورد تصویب قرار گرفت.

		مرتبه علمی	نام دانشگاه	امضاء
۶.	**استاد راهنما:** آقای دکتر کاوه شیبانی	استادیار	مرکز تحقیقات مخابرات	
۷.	**مشاور:** آقای دکتر چنگیز اصلاح‌چی	دانشیار	شهید بهشتی	
۸.	**داور:** آقای دکتر محمدحسام تدین	استادیار	مرکز تحقیقات مخابرات	
۹.	**داور:** آقای دکتر سهرابعلی یوسفی	دانشیار	شهید بهشتی	
۱۰.	**مدیر گروه:** آقای دکتر سهرابعلی یوسفی	دانشیار	شهید بهشتی	

نماینده محترم تکمیل دانشکده
نرگس محمدی

تقدیم به

مادر و پدرم

و خواهر عزیزم

قدردانی

لازم است از استاد گران‌قدر جناب آقای دکتر کاوه شیبانی، به خاطر زحماتی که برای اینجانب متحمل شده‌اند و در تمامی زمینه‌ها به بهترین وجه ممکن مرا راهنمایی و همیاری نموده‌اند تشکّر ویژه نمایم. همچنین از آقای دکتر چنگیز اصلاح‌چی که مشاوره‌های لازم را در این پایان‌نامه به من دادند و از آقایان دکتر سهرابعلی یوسفی و دکتر محمدحسام تدین که داوری این پایان‌نامه را پذیرفتند نیز ممنونم. از جناب آقای مانی رضایی به دلیل پیشنهادها و مساعدت‌شان در نگارش این پایان‌نامه کمال تشکّر را دارم.

در پایان، وظیفه‌ی خویش می‌دانم از زحمات تمامی اساتیدی که در دوره‌های مختلف تحصیلی مرا یاری رساندند، از جمله جناب آقای دکتر حسین آذری نیز تشکّر نمایم.

این پایان‌نامه از حمایت‌های مالی و معنوی مرکز تحقیقات مخابرات ایران بهره گرفته است.

چکیده

شبکه‌های اقتضایی بی‌سیم معمولاً از گره‌های خودکاری تشکیل شده‌اند که تنها با استفاده از انرژی باتری‌شان می‌توانند در شبکه نقش‌آفرینی کنند. شاید کارآمدی انرژی یکی از مهم‌ترین فاکتورها در طراحی چنین شبکه‌هایی باشد. یکی از وظایف اصلی این نوع شبکه‌ها، فرستادن اطلاعات از سرویس‌دهنده به سرویس‌گیرنده می‌باشد. تکنیک‌های مورد استفاده برای برقراری ارتباط در شبکه‌های بی‌سیم را می‌توان به سه گروه کلی تقسیم‌بندی نمود: (۱)مسیریابی یک‌پخشی (۲)مسیریابی پخشی (۳)مسیریابی چندپخشی. در شبکه‌های مخابراتی مدرن، تکنیک‌های مسیریابی پخشی و چندپخشی از جمله عملیّات اساسی می‌باشند. برقراری ارتباطات پخشی و چندپخشی با هدف کمینه کردن میزان انرژی مصرفی در یک شبکه‌ی اقتضایی بی‌سیم، منجر به حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبیاتی سخت می‌شود.

در این پایان‌نامه، هدف آن است که چگونگی مدل‌سازی مسائل بهینه‌سازی برخاسته از تکنیک‌های مسیریابی در شبکه‌های اقتضایی بی‌سیم بررسی شود. سپس روش‌های تقریبی موجود برای حل مدل‌های ارائه شده مورد مطالعه و مقایسه قرار می‌گیرند. بر اساس مفهوم ارزیابی آزمند فازی، یک روش ابتکاری چندجمله‌ای زمانی جدید برای مسئله‌ی پخشی با انرژی کمینه در شبکه‌های اقتضایی بی‌سیم و ایستا ارائه شده است. در حقیقت، یک تابع ارزیابی آزمند فازی برای اولویت‌دهی به توان مخابره‌ی گره‌های مورد استفاده در ساختن درخت پخشی، به عنوان یک جواب، به‌کار گرفته شده است. مطالعات پژوهشی یک ارتقاء نسبت به روش ابتکاری درخت پوششی کمینه را نشان می‌دهد. همچنین مشاهده خواهیم کرد که روش ابتکاری درخت پوششی کمینه، یک حالت خاص از روش ابتکاری و جامع ارزیابی آزمند فازی است.

کلمات کلیدی. شبکه‌ی اقتضایی بی‌سیم؛ پخش و چندپخش با انرژی کمینه؛ روش‌های ابتکاری؛ بهینه‌سازی ترکیبیاتی؛ مجموعه‌های فازی.

پیشگفتار

در سال‌های اخیر، کاربرد شبکه‌های بی‌سیم با افزایش کلانی مواجه شده است. این افزایش عمدتاً به دلیل کاهش‌های اخیر در قیمت تجهیزات و ویژگی‌هایی است که توسط تکنولوژی جدید فراهم شده است. به‌ویژه، به دلیل قابلیت به‌کارگیری سریع و گسترده‌ی این نوع شبکه‌ها در کاربردهایی مانند عملیّات امداد و کمک‌رسانی و میدان جنگ، شبکه‌های اقتضایی بی‌سیم، توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند.

موضوعی که به‌طور طبیعی در شبکه‌های اقتضایی بی‌سیم به‌وجود می‌آید، عبارت است از پشتیبانی الگوهای ارتباطی که در شبکه‌های پیشین قابل به‌کارگیری هستند. از جمله این الگوها می‌توان به مسیریابی یک‌پخشی (یک به یک)، مسیریابی چندپخشی (یک به چند) و مسیریابی پخشی (یک به کل) اشاره کرد. از آن‌جایی که هیچ زیرساختار از پیش تعریف شده‌ای وجود ندارد، در این نوع شبکه‌ها برخی از ارتباطات از طریق مخابره‌های چندپرشی پشتیبانی می‌شود، که در آن گره‌های میانی اطلاعات بین اجزاء مرتبط‌شونده را بازپخش می‌کنند.

در شبکه‌های اقتضایی بی‌سیم، هر گره با استفاده از انرژی باتری به برقراری ارتباط در شبکه می‌پردازد و انرژی ذخیره شده در باتری‌ها معمولاً یک منبع غیر قابل تجدید می‌باشد. لذا، توجه به کارآمدی انرژی در طراحی چنین شبکه‌هایی حائز اهمیّت است. به‌طورکلی، مسئله‌ی مسیریابی پخشی و چندپخشی با انرژی کمینه در رده‌ی مسائل بهینه‌سازی ترکیبیاتی سخت طبقه‌بندی می‌شود.

در دهه‌های اخیر، توجه روزافزونی به روش‌های محاسبه‌ی جواب‌های بهینه‌ی یک دسته از مسائل به‌نام بهینه‌سازی ترکیبیاتی صورت گرفته است. یک مسئله‌ی بهینه‌سازی ترکیبیاتی را می‌توان توسط یک مجموعه از نمونه‌ها مشخص کرد. هر نمونه متناظر با یک فضای جواب گسسته X، یک فضای شدنی S با ویژگی $S \subseteq X$ که توسط قیدهای مسئله تعیین می‌گردد، و یک تابع هدف $f : X \to \mathbb{R}$ است. یک مسئله‌ی بهینه‌سازی ترکیبیاتی

را می‌توان به‌صورت کمینه کردن f نمایش داد.

در حالی‌که مسائل ترکیبیاتی را به آسانی می‌توان توضیح داد، امّا این دسته از مسائل را به سختی می‌توان حل کرد. بر اساس نظریه‌ی پیچیدگی محاسباتی ارائه شده در مقاله‌ی Cook's [1] مسائل در عمل، به دو گروه *آسان* و *سخت* طبقه‌بندی می‌شوند. یک مسئله را آسان می‌نامیم اگر بتوان یک الگوریتم را طوری گسترش داد که جواب بهینه‌ی مسئله را در زمان چندجمله‌ای تولید کند. یک مسئله سخت نامیده می‌شود اگر چنین الگوریتم چندجمله‌ای زمانی برای مسئله وجود نداشته باشد.

به دلیل اهمیّت مسائل بهینه‌سازی ترکیبیاتی، روش‌های بسیاری برای حل این دسته از مسائل گسترش یافته است. این روش‌ها را می‌توان به دو گروه روش‌های دقیق یا *تقریبی* دسته‌بندی کرد. روش‌های دقیق محاسبه‌ی یک جواب بهینه را در زمان چندجمله‌ای تضمین می‌کنند. البتّه برای آن دسته از مسائل که عضو گروه مسائل سخت می‌باشند، روش‌های دقیق به یک زمان نمایی برای رسیدن به جواب احتیاج دارند. این الگوریتم‌ها، اغلب به یک زمان اجرای بیش از اندازه طولانی برای اهداف کاربردی، نیازمند هستند. بنابراین، روش‌های تقریبی اغلب به عنوان تنها ابزار عملی برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبیاتی سخت، مورد ملاحظه قرار می‌گیرند. در این حالت، به منظور دست‌یابی به جواب‌هایی با کیفیت مناسب در یک زمان منطقی، بهینگی جواب به‌دست آمده قربانی می‌شود. چنین روش‌های تقریبی معمولاً روش‌های ابتکاری نامیده می‌شوند. اصطلاح روش‌های ابتکاری از یک کلمه‌ی یونانی به معنای پیدا کردن گرفته شده است.

این پایان‌نامه شامل چهار فصل است. در فصل اوّل، بر مفاهیم کلی محیط شبکه‌های اقتضایی بی‌سیم و بیان مسئله‌ی پخشی و چندپخشی با انرژی کمینه و ویژگی‌های نظری آن‌ها متمرکز خواهیم شد. به منظور درک بهتر از موضوع، مدل برنامه‌ریزی خطی و عدد صحیح این مسئله در فصل دو طرح شده است. از آن‌جایی که ثابت شده است، مسئله‌ی پخشی و چندپخشی با انرژی کمینه یک مسئله‌ی بهینه‌سازی ترکیبیاتی سخت می‌باشد، لذا با توجه به مطالب مذکور، فصل سوم به مرور بهترین روش‌های ابتکاری ارائه شده برای حل این مسئله اختصاص دارد و مفهوم نسبت تقریب به عنوان معیاری برای مقایسه‌ی این روش‌ها نیز در این فصل گنجانده شده است [2].

نوآوری این پایان‌نامه در معرفی یک روش ابتکاری نوین بر مبنای ایده‌ی روش‌های ابتکاری آزمند فازی می‌باشد. روش ارائه شده و مفاهیم مرتبط با آن در فصل چهارم تحت عنوان مفهوم ارزیابی آزمند فازی مورد

مطالعه قرار می‌گیرد. در این فصل ابتدا مفهوم الگوریتم‌های آزمند و همچنین ایده‌ی روش‌های ابتکاری آزمند فازی مطرح می‌گردد [3]. در نهایت با تحلیل نتایج پژوهشی حاصل از پیاده‌سازی روش ابتکاری ارائه شده، نشان داده می‌شود که این روش، جواب‌های به‌دست آمده از روش ابتکاری درخت پوششی کمینه را به‌طور قابل توجهی ارتقاء می‌دهد. این پایان‌نامه، منجر به دو مقاله در یک کنفرانس داخلی و یک مقاله در یک کنفرانس خارجی شده است. عنوان مقالات و کنفرانس‌های مذکور به شرح زیر است:

- N. Rahmani, and K. Sheibani, "A Heuristic for Energy-Efficient Broadcasting in Static Ad Hoc Wireless Networks," in Proc. the 2nd IEEE International Symposium on Computer Network and Multimedia Technology, Wuhan, China, 2010.

- نسترن رحمانی و کاوه شیبانی، "روش‌های ابتکاری برای کمینه‌سازی انرژی مصرفی در شبکه‌های اقتضایی بی‌سیم با تکنیک انتقال چندپخشی اطلاعات،" مجموعه مقالات سومین کنفرانس بین‌المللی انجمن ایرانی تحقیق در عملیات، تهران، ایران، ۱۳۸۹.

- فریبا کاظمی گلباغی، نسترن رحمانی و کاوه شیبانی، "حل مسائل درخت اشتاینر در بهینه‌سازی شبکه‌های ارتباطات کامپیوتری با استفاده از روش‌های فراابتکاری،" مجموعه مقالات سومین کنفرانس بین‌المللی انجمن ایرانی تحقیق در عملیات، تهران، ایران، ۱۳۸۹.

فهرست مطالب

فصل اول شبکه‌های اقتضایی بی‌سیم ۱

۱-۱ وظیفه‌ی پخش ۴

۱-۲ ناکارآمدی ارتباطات اقتضایی ۸

۱-۳ مقدمات ۹

۱-۳-۱ مدل ارتباطی ۹

۱-۳-۲ فرض‌ها ۱۱

۱-۳-۳ مدل انرژی ۱۲

۱-۴ مروری بر تکنیک‌های پخشی انرژی کارآمد ۱۴

۱-۵ چالش‌های موجود ۱۷

۱-۶ مدل ارتباطات بی‌سیم ۲۰

فصل دوم مدل ریاضی مسئله ۲۳

۲-۱ یادآوری ۲۴

۲-۲ مسئله‌ی پخشی با کمترین انرژی در مقابل مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره گرد ۲۵

۲-۳ یک دیدگاه متبادل از ملاقات ضمنی ۲۸

۲-۴ اصطلاحات ۲۹

۲-۴-۱ ماتریس توانی ۳۰

۲-۴-۲ ماتریس فوق‌العاده ۳۱

۲-۵ مدل برنامه‌ریزی خطی و عدد صحیح «الف» ۳۲

۲-۵-۱ مدل برنامه‌ریزی خطی و عدد صحیح «الف»: مدل کلی ۳۶

۲-۶ مدل برنامه‌ریزی خطی و عدد صحیح «ب» ۳۸

۲-۷ نکاتی روی جواب‌های به‌دست آمده با استفاده از مدل‌های «الف» و «ب» ۴۲

۲-۸ مدل برنامه‌ریزی خطی و عدد صحیح «ث» ۴۵

فصل سوم روش‌های ابتکاری برای مسئله‌ی پخشی و چندپخشی با انرژی کمینه ۴۹

۳-۱ روش‌های ابتکاری گسترش یافته برای طرح‌های پخشی ۵۰

۳-۱-۱ الگوریتم‌های درخت پوششی ۵۰

۳-۱-۲ الگوریتم‌های جستجوی محلی ۵۹

Sweep ۶۰

IMBM ۶۱

EWMA ۶۱

BIDP ۶۱

r-shrink ۶۲

LESS ۶۳

۳-۲ روش‌های ابتکاری گسترش‌یافته برای طرح‌های چندپخشی ۶۳
۳-۲-۱ روش هرس کردن ۶۵
۳-۲-۲ روش درخت اشتاینر کمینه ۶۵
۳-۳ نسبت تقریب ۶۸
۳-۳-۱ مقدمات ۶۹
۳-۳-۲ نسبت تقریب الگوریتم SPT ۷۰
۳-۳-۳ نسبت تقریب الگوریتم BAIP ۷۱
۳-۳-۴ کران‌های پایین برای نسبت تقریب روش‌های MST و BIP ۷۲
۳-۳-۵ کران‌های بالا برای نسبت تقریب روش‌های MST و BIP ۷۶
۳-۴ نسبت تقریب روش‌های ابتکاری برای مسئله‌ی چندپخشی ۸۲
۳-۴-۱ نسبت تقریب روش‌های ابتکاری موجود بر اساس ایده‌ی هرس . . . ۸۲
۳-۴-۲ یک نکته پیرامون نسبت تقریب روش‌های SPF و MIPF ۸۹

فصل چهارم یک روش ابتکاری آزمند فازی برای مسئله‌ی پخشی با انرژی کمینه ۹۵

۴-۱ یک الگوریتم آزمند چیست؟ ۹۶
۴-۲ مجموعه‌های فازی ۹۷
۴-۳ ارزیابی آزمند فازی ۱۰۰
۴-۴ روش ابتکاری آزمند فازی ۱۰۲
۴-۴-۱ ویژگی‌های ریاضی ۱۰۳
۴-۴-۲ ارزیابی کارایی ۱۰۷

فصل پنجم نتیجه‌گیری ۱۱۱

پیوست‌ها ۱۱۵

واژه‌نامه ۱۱۵

فارسی به انگلیسی ۱۱۵

واژه‌نامه ۱۲۵

انگلیسی به فارسی ۱۲۵

مراجع ۱۳۵

فهرست جداول

۳-۱ نسبت تقریب الگوریتم‌های ارائه شده برای مسئله‌ی درخت اشتاینر در گراف‌ها. . . . ۶۶

۳-۲ مقایسه‌ی الگوریتم‌های درخت پوششی برای مسئله‌ی پخشی ۹۲

۳-۳ مقایسه‌ی روش‌های جستجوی محلی برای مسئله‌ی پخشی ۹۲

۳-۴ مقایسه‌ی الگوریتم‌های مسئله‌ی چندپخشی با انرژی کمینه ۹۳

۴-۱ نتایج کلی به‌دست آمده توسط روش ابتکاری FGH ۱۰۹

فهرست اشکال

۱-۱ یک شبکه‌ی خودسازمان دهنده. ۴

۱-۲ مسیریابی چندپرشی. ۵

۱-۳ یک درخواست مسیر از میزبان A به میزبان B. ۶

۱-۴ یک گراف واحد با چگالی ۱۵ و ۱۰۰ گره. ۱۰

۱-۵ فاصله در پرش‌ها. ۱۱

۱-۶ محاسبه‌ی میزان انرژی مصرفی ۱۳

۱-۷ مثالی که در آن همه‌ی گره‌ها ملزم به بازپخش یک پیغام نیستند. ۱۴

۱-۸ گراف همسایه‌ی نسبی ۱۶

۱-۹ نتایج حاصل از تنظیم شعاع مخابره. ۱۷

۱-۱۰ مثالی از ویژگی WMA. ۱۹

۲-۱ مثالی از یک شبکه‌ی بی‌سیم که در آن گره‌ها به‌طور واقعی و ضمنی یک مخابره دریافت کرده‌اند. ۲۷

۲-۲ مثالی از یک شبکه با پنج گره. ۲۸

۲-۳ شبکه‌ای با هشت گره که در آن دیدگاه متبادل از ملاقات‌های ضمنی نشان داده شده است. . ۲۹

۲-۴ یک شبکه با چهار گره: گره‌ی ۴ گره‌ی منبع است. ۳۰

۲-۵ مثالی از حلقه‌ها و مجموعه‌های مجزا. ۳۹

۲-۶ حلقه‌ی $\{۵ \leftrightarrow ۴\}$ توسط یک ترکیب از مخابره‌های هزینه‌بر و بدون هزینه شکل گرفته است. ۴۰

۲-۷ شکل‌گیری مجموعه‌های مجزا، بدون حلقه ۴۱

۲-۸ مثالی از یک شبکه با شش گره: گره‌ی پنج گره‌ی منبع است. ۴۳

۲-۹ تعبیر جریانی از مقادیر بهینه‌ی $\{X_{ij}\}$ در رابطه‌ی (۲-۴۶). ۴۵

۳-۱ مثالی از روش BIP ۵۶

۳-۲ مثالی از روش‌های ابتکاری SPT و MST ۵۸

۳-۳ یک نمونه‌ی بد برای SPT. ۷۱

۳-۴ یک نمونه‌ی بد برای MST. ۷۳

۳-۵ یک نمونه‌ی بد برای BIP. ۷۵

۳-۶ نواحی لوزی شکل ۷۹

۳-۷ قسمت‌های هاشورخورده نواحی بیرون‌زده را مشخص می‌کند. ۸۰

۳-۸ کران‌بالا برای نواحی بیرون‌زده ۸۱

۳-۹ یک نمونه‌ی بد برای P-SPT. ۸۳

۳-۱۰ یک نمونه‌ی بد برای P-MST. ۸۴

۳-۱۱ یک نمونه‌ی بد برای روش P-BIP. ۸۶

۴-۱ توزیع تابع عضویت ۹۹

۴-۲ نمودار کارایی ۱۰۸

۳-۴ هیستوگرام ۱۰۸

فهرست علائم اختصاری

BAIP (Broadcast average incremental power) . . . . . میانگین توان اضافی پخشی

BIDP (Broadcast incremental-decremental powers) . . . . . توان‌های افزایشی-کاهشی پخشی

BIP (Broadcast incremental power) . . . . . توان اضافی پخشی

COBRA (Center oriented broadcast routing algorithm) . . . . . مسیریابی پخشی مرکزگرا

DSR (Dynamic source routing) . . . . . مسیریابی منبع پویا

ESS (Expanding sweep search) . . . . . جستجوی sweep گسترش یافته

EWMA (Embedded wireless multicast advantage) . . . منفعت چندپخشی بی‌سیم تعبیه شده

FGH (Fuzzy greedy heuristic) . . . . . روش ابتکاری آزمند فازی

GPBE (Greedy perimeter broadcast efficiency) . . . . . محیط آزمند پخشی کارآمد

GPS (Global positioning system) . . . . . سیستم مکان‌یابی کلی

IMBM (Iterative maximum-branch minimization) . . . . . مکرراً کمینه‌سازی بیشینه‌ـشاخه

LESS (Largest expanding sweep search) . . . . . بزرگ‌ترین جستجوی sweep گسترش یافته

MEB (Minimum energy broadcast) . . . . . پخش با انرژی کمینه

MILP (Mixed integer linear programming) . . . . . برنامه‌ریزی خطی و عدد صحیح مختلط

MIPF (Minimum incremental path first) . . . . . اولین مسیر اضافی کمینه

MST (Minimum spanning tree) . . . . . کوتاه‌ترین درخت پوششی

OT (Open tour) . . . . . دور باز

OT-TSP (Open tour-Travelling salesman problem) . . . مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد‌ـدور باز

P-BIP (Pruned broadcast incremental power) . . . . . توان اضافی پخشی هرس‌شده

P-MST (Pruned minimum spanning tree) . . . . . درخت پوششی کمینه‌ی هرس‌شده

P-SPT (Pruned shortest path tree) . . . . . درخت کوتاه‌ترین مسیر هرس‌شده

RNG (Relative neighborhood graph) . . . . . گراف همسایه‌ی نسبی

SMT (Minimum Steiner tree) . . . . . درخت اشتاینر کمینه

SPF (Shortest path first) . . . . . اولین مسیر کمینه

SPT (Shortest path tree) . . . . . درخت کوتاه‌ترین مسیر

TSP (Travelling salesman problem) . . . . . مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد