دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

آزمایشگاه بینایی و هوش محاسباتی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر

گرایش نرم‌افزار

شبیه‌سازی و ارائه روش جدید زمانبندی چراغ‌های هوشمند ترافیکی با استفاده از سیستم‌های چندعاملی از طریق اتوماتای یادگیر

تهیه‌کننده: لعبت عزیزی

استاد راهنما: دکتر رضا صفابخش

شهریور ۱۳۸۶

بسمــه تعالـــی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
معاونت پژوهشی

فرم اطلاعات پایان نامه
کارشناسی ارشد و دکترا

تاریخ: .....

پیوست: .....

نام و نام خانوادگی:	لعبت عزیزی	**دانشجوی آزاد** ■	**بورسیه** □	**معادل** □
شماره دانشجوئی:	۸۳۱۳۱۱۹۸	**دانشکده:** مهندسی کامپیوتر	**رشته تحصیلی:**	مهندسی نرم افزار

نام و نام خانوادگی استاد راهنما: دکتر رضا صفابخش

عنوان پایان نامه به فارسی: شبیه‌سازی و ارائه روش جدید زمانبندی چراغ‌های هوشمند ترافیکی با استفاده از سیستم‌های چندعاملی از طریق اتوماتای یادگیر

عنوان پایان نامه به انگلیسی: **A New Learning Method for Traffic Light Control based on Agent Technology and Learning Automata**

نوع پروژه: کارشناسی ارشد ■ / دکترا □ — **کاربردی** ■ — **بنیادی** □ — **توسعه ای** □ — **نظری** □

تاریخ شروع: ۱۳۸۴ — **تاریخ خاتمه:** ۱۳۸۶ — **تعداد واحد:** ۶

سازمان تأمین کننده اعتبار:

واژه های کلیدی به فارسی: عامل، سیستم‌های چندعاملی، اتوماتای یادگیر، شبیه‌ساز کنترل ترافیک، یادگیری، سیستم کنترل ترافیک

واژه های کلیدی به انگلیسی: **Agent, Multi-Agent Systems, Learning Automata, Traffic Control Simulator, Traffic Control System**

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت های پژوهشی دانشگاه:

استاد راهنما:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما: — **تاریخ:**

نـسخه ۱ : معاونت پژوهشی
نـسخه ۲ : کتابخانه و به انضمام دو جلد پایان نامه به منظور تسویه حساب با کتابخانه و مرکز اسناد و مدارک علمی

تقدیم به

پدر خردمندم و مادر مهربانم

که با راهنمایی‌ها و دلسوزی‌های خود مرا در همه مراحل زندگی یاری نموده‌اند،

از استاد راهنمای خود، جناب آقای دکتر رضا صفابخش، به پاس راهنمایی‌های گرانقدر **ایشان در طول مدت تحصیل در دوره کارشناسی ارشد و بویژه طی انجام این پژوهش،** کمال تشکر را دارم. **آنچه من از ایشان دارم بسیار بیش از نگارش یک اثر علمی است.**

از جناب آقای دکتر محمدرضا میبدی و جناب آقای دکتر جاهد مطلق که زحمت داوری این پایان‌نامه را پذیرفتند و با اهتمام فراوان اقدام به داوری پایان‌نامه نمودند و بدینوسیله بر غنای آن افزودند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

فهرست مطالب

مطالب صفحه
فصل اول: مقدمه ۱
۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ تعریف مسأله و اهداف پایان نامه ۴
۱-۳ دستاوردهای پایان نامه ۶
۱-۴ نگاه کلی بر پایان نامه ۷

فصل دوم: معرفی سیستم‌های چندعاملی و اتوماتای یادگیر ۸
۲-۱ مقدمه ۹
۲-۲ معرفی عامل و سیستم‌های چندعاملی ۱۰
۲-۲-۱ تعریف عامل ۱۰
۲-۲-۲ دسته‌بندی عامل‌ها ۱۱
۲-۲-۳ انواع محیط عامل ۱۲
۲-۲-۳-۱ قابل دستیابی/ غیرقابل دستیابی ۱۳
۲-۲-۳-۲ محیط قطعی / غیرقطعی ۱۳
۲-۲-۳-۳ محیط مقطعی / غیرمقطعی ۱۳
۲-۲-۳-۴ محیط ایستا / پویا ۱۴
۲-۲-۳-۵ محیط گسسته / پیوسته ۱۴
۲-۲-۴ شبیه‌سازی عامل‌ها ۱۴
۲-۳ سیستم‌های چندعاملی ۱۵
۲-۳-۱ ساختار سیستم چندعاملی ۱۷
۲-۳-۲ دلایل استفاده از سیستم‌های چندعاملی ۱۹
۲-۳-۳ معماری‌های ارائه شده برای سیستم‌های چندعاملی ۲۰
۲-۳-۴ سازماندهی سیستم‌های چندعاملی ۲۲
۲-۳-۴-۱ ساختار سلسله‌مراتبی ۲۲
۲-۳-۴-۲ ساختار مسطح ۲۳
۲-۳-۴-۳ ساختار جزء به کل ۲۴
۲-۳-۴-۴ ساختار پیمانه‌ای ۲۴
۲-۳-۵ هماهنگی در سیستم‌های چندعاملی ۲۴
۲-۳-۶ دلایل لزوم هماهنگی در سیستم‌های چندعاملی ۲۶

۲-۳-۶-۱ تکنیک‌های هماهنگی در سیستم‌های چندعاملی ۲۸
۲-۳-۶-۱-۱ ایجاد ساختارهای سازمانی بین عامل‌ها ۲۸
۲-۳-۶-۱-۲ تبادل اطلاعات فوق سطح ۲۹
۲-۳-۶-۱-۳ شبکه قرارداد برای همکاری بین عامل‌ها ۳۰
۲-۳-۶-۱-۴ برنامه‌ریزی عامل‌ها ۳۲
۲-۳-۶-۱-۵ مذاکره بین عامل‌ها تا حصول توافق-ارتباط بین عامل‌ها ۳۳
۲-۳-۶-۱-۵-۱ ارتباط از طریق اشتراک دانش ۳۴
۲-۳-۶-۱-۵-۲ ارتباط از طریق زبان مشترک ۳۴
۲-۴ معرفی اتوماتای سلولی و اتوماتای یادگیر ۳۵
۲-۴-۱ اتوماتای سلولی ۳۵
۲-۴-۱-۱ تعریف اتوماتای سلولی ۳۵
۲-۴-۱-۲ ویژگی‌های مدل اتوماتای سلولی ۳۶
۲-۴-۱-۳ همسایگی در اتوماتای سلولی ۳۷
۲-۴-۱-۴ انواع قوانین در اتوماتای سلولی ۳۸
۲-۴-۱-۵ بررسی رفتار در اتوماتای سلولی ۳۹
۲-۴-۲ اتوماتای یادگیر سلولی ۳۹
۲-۴-۲-۱ همسایگی برای اتوماتای یادگیر سلولی ۴۱
۲-۴-۲-۲ عملکرد اتوماتای یادگیر سلولی ۴۲
۲-۴-۲-۳ قوانین اتوماتای یادگیر سلولی ۴۳
۲-۴-۲-۴ قوانین عمومی اتوماتای یادگیر سلولی ۴۳
۲-۴-۲-۵ اتوماتای یادگیر سلولی با متغیر سراسری ۴۵
۲-۴-۲-۶ اتوماتای یادگیر سلولی دارای ورودی ۴۵
۲-۴-۲-۷ اتوماتای یادگیر سلولی با شعاع همسایگی متغیر ۴۶
۲-۴-۳ اتوماتای یادگیر ۴۷
۲-۴-۳-۱ یادگیری تقویتی ۴۷
۲-۴-۳-۲ تعریف اتوماتای یادگیر ۴۸
۲-۴-۳-۳ احتمالات اعمال و مدل یادگیری تقویتی ۴۹
۲-۴-۳-۴ مدل‌های خطی در اتوماتای یادگیر ۵۰
۲-۵ جمع‌بندی ۵۱

فصل سوم: کاربردهای موجود برای کنترل ترافیک ۵۳

۳-۱ مقدمه ۵۴
۳-۲ ترافیک ۵۴
۳-۲-۱ مدل کردن و کنترل نمودن ترافیک ۵۵
۳-۲-۲ مدل‌های ترافیکی ۵۵
۳-۲-۳ شبیه‌سازهای کنترل ترافیک ۵۶
۳-۲-۴ عوامل مؤثر بر ترافیک ۵۶
۳-۲-۴-۱ جاده‌ها ۵۷
۳-۲-۴-۲ چراغ‌های راهنمایی ۵۷
۳-۲-۴-۳ راه‌ها ۵۸
۳-۲-۴-۴ ملاحظات دیگر ۵۸
۳-۲-۵ مسائل و چالش‌ها در سیستم‌های کنترل ترافیک ۵۹
۳-۲-۶ روش‌های کنترل ترافیک ۶۰
۳-۲-۶-۱ انواع روش‌های سنتی و غیرهوشمند در کنترل ترافیک ۶۰
۳-۲-۶-۲ مدیریت هوشمند ترافیک و انواع روش‌های مورد استفاده در آن ۶۳
۳-۲-۷ زمینه‌های استفاده از سیستم‌های چندعاملی در کنترل ترافیک ۶۶
۳-۲-۷-۱ تحلیل و توصیف سیستم‌های ترافیکی ۶۶
۳-۲-۷-۲ افزایش استقلال واحدهای ترافیکی منفرد ۶۶
۳-۲-۷-۳ قالب کاری تجمیعی برای سیستم‌های موجود در حال حاضر و آینده ۶۷
۳-۲-۸ کاربردهای سیستم‌های چندعاملی در حمل و نقل ترافیکی ۶۷
۳-۲-۸-۱ کنترل و هدایت ترافیک ۶۷
۳-۲-۸-۱-۱ ترافیک جاده‌ای ۶۸
۳-۲-۸-۱-۲ ترافیک هوایی ۶۹
۳-۲-۸-۱-۳ ترافیک ریلی ۶۹
۳-۲-۸-۲ مدیریت منابع و ظرفیت ۷۰
۳-۲-۸-۲-۱ مدیریت کاروان ۷۰
۳-۲-۸-۲-۲ مدیریت کاروان در ترافیک هوایی ۷۰
۳-۲-۸-۲-۳ انتقال و حمل در بندرگاه‌ها و فرودگاه‌ها ۷۱
۳-۳ مسائل موجود برای بکارگیری عامل‌ها ۷۱
۳-۴ جمع‌بندی ۷۳

فصل چهارم: روش جدید زمانبندی چراغ‌های راهنمایی ۷۴

۴-۱ مقدمه ۷۵
۴-۲ خصوصیت مارکف ۷۷
۴-۲-۱ فرآیند تصمیم‌گیری مارکف ۷۸
۴-۲-۲ یادگیری تقویتی ۷۸
۴-۳ روش جدید زمانبندی چراغ‌های راهنمایی ۷۹
۴-۳-۱ ساختار سیستم چندعاملی کنترل کننده‌ی شبکه‌ی ترافیکی ۷۹
۴-۳-۲ شرایط محیط سیستم چندعاملی کنترل ترافیکی ۸۶
۴-۳-۳ ساختار عامل متناظر با چراغ راهنمایی ۸۸
۴-۳-۴ ساختار سیستم چندعاملی پیشنهادی برای کنترل ترافیک ۸۹
۴-۳-۵ ساختار اتوماتای یادگیر موجود در عامل متناظر با هر چراغ راهنمایی ۹۰
۴-۴ نحوه‌ی اجرا و یادگیری روش پیشنهادی سیستم کنترل ترافیکی ۹۲
۴-۵ جمع بندی ۹۵

فصل پنجم: معماری شبیه‌ساز سیستم کنترل ترافیک و نتایج شبیه‌سازی ۹۷
۵-۱ مقدمه ۹۸
۵-۲ معماری شبیه‌ساز سیستم کنترل ترافیکی چراغ‌های راهنمایی ۹۹
۵-۲-۱ واحد شبیه‌سازی تولید و مدیریت جریان ترافیکی ۱۰۱
۵-۲-۲ واحد شبیه‌ساز مدیریت ترافیکی (یا تفکر چهارراه) ۱۰۳
۵-۲-۳ واحد واسط کاربر ۱۰۴
۵-۳ آماده سازی بستر آزمایشات ۱۰۵
۵-۴ ارزیابی و مقایسه‌ی روش‌های زمانبندی کنترل ترافیک ۱۰۶
۵-۴-۱ پارامترهای ارزیابی ۱۰۶
۵-۴-۲ بررسی یادگیری انجام شده در مدل پاداش جریمه-جزئی ۱۰۸
۵-۴-۳ مقایسه در حالت تراکم بالا برای سه مدل خطی اتوماتای یادگیر همراه با روش کنترل چراغ‌های راهنمایی چرخه ثابت ۱۱۰
۵-۴-۴ مقایسه‌ی مدل خطی پاداش جریمه جزئی برای اتوماتاهای یادگیر با روش چرخه ثابت در حالت تراکم جریان متوسط ۱۱۷
۵-۴-۵ مقایسه مدل پاداش جریمه جزئی و روش چرخه ثابت در حالت ترکیبی با تراکم جریان ترافیکی متوسط ۱۱۹
۵-۵ جمع‌بندی ۱۲۲

فصل ششم: نتیجه‌گیری و کارهای آینده ۱۲۳
۶-۱ نتیجه‌گیری ۱۲۴
۶-۲ کارهای آینده ۱۲۶

فهرست مراجع ۱۲۸

فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۱ شبه‌کد شبیه‌سازی محیط عامل ۱۵

جدول ۴-۱ مقادیر *achives* ۸۲

جدول ۴-۲ مقادیر *related* ۸۲

جدول ۴-۳ مقادیر *requires* ۸۳

جدول ۴-۴ مقادیر *plays* ۸۴

جدول ۴-۵ مقادیر *coord* ۸۴

جدول ۴-۶ مقادیر *capable* ۸۵

جدول ۴-۷ مقادیر *possesses* ۸۵

جدول ۴-۸ ساختار عامل کنترل کننده‌ی چراغ راهنمایی i متناظر با چهارراه i ۸۸

جدول ۴-۹ ساختار اتوماتای یادگیر i متناظر با عامل کنترل کننده‌ی چراغ راهنمایی i ۹۰

جدول ۵-۱ تعریف پارامترهای ارزیابی به صورت رسمی ۱۰۷

جدول ۵-۲ مقادیر میانگین زمان انتظار ماشین‌ها و انحراف معیار میانگین زمان انتظار ماشین‌ها برای مدل‌های خطی مختلف برای یادگیری اتوماتای یادگیر و روش چرخه ثابت در حالت تراکم بالا ۱۱۵

جدول ۵-۳ درصد کاراتر بودن مدل‌های خطی مختلف برای یادگیری اتوماتای یادگیر در حالت تراکم بالا برای دو معیار ارزیابی میانگین زمان انتظار ماشین‌ها و انحراف معیار میانگین زمان انتظار ماشین‌ها ۱۱۵

جدول ۵-۴ نتایج ارزیابی حالت‌های مختلف زمانبند چراغ‌های راهنمایی سیستم کنترل ترافیک در حالت تراکم جریان ترافیکی بالا ۱۱۶

جدول ۵-۵ مقادیر میانگین زمان انتظار ماشین‌ها و انحراف معیار میانگین زمان انتظار ماشین‌ها برای مدل‌های خطی پاداش جریمه جزئی یادگیری اتوماتای یادگیر و روش چرخه ثابت در حالت تراکم متوسط ۱۱۸

جدول ۵-۶ نتایج حاصل از مقایسه‌ی روش زمانبندی مدل پاداش جریمه جزئی و چرخه ثابت در حالت تراکم متوسط ۱۱۸

جدول ۵-۷ مقادیر میانگین زمان انتظار ماشین‌ها و انحراف معیار میانگین زمان انتظار ماشین‌ها برای مدل‌های خطی مختلف برای یادگیری اتوماتای یادگیر و روش چرخه ثابت در حالت ترکیبی با تراکم متوسط ۱۲۰

جدول ۵-۸ نتایج حاصل از مقایسه‌ی روش زمانبندی مدل پاداش جریمه جزئی و چرخه ثابت در حالت ترکیبی با تراکم متوسط ۱۲۱

جدول ۵-۹ نتایج ارزیابی حالت‌های مختلف زمانبند چراغ‌های راهنمایی سیستم کنترل ترافیک در حالت‌های مختلف تراکم جریان ترافیکی ۱۲۱

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱ سیستم چندعاملی ۱۶

شکل ۲-۲ قالب کاری چندعاملی ۱۷

شکل ۲-۳ سکوی عامل فیپا ۲۲

شکل ۲-۴ ارتباط بصورت ساختار سلسله مراتبی بین عامل‌ها ۲۳

شکل ۲-۵ ارتباط بصورت ساختار مسطح بین عامل‌ها ۲۳

شکل ۲-۶ ارتباط بصورت ساختار جزء به کل ۲۴

شکل ۲-۷ ارتباط بصورت ساختار پیمانه‌ای ۲۵

شکل ۲-۸ راه‌های مختلف هماهنگی رفتار و فعالیت‌های عامل‌ها در سیستم‌های چندعامله ۲۶

شکل ۲-۹ مکانیزم ارتباط عامل‌ها از طریق دانش مشترک ۳۴

شکل ۲-۱۰ مکانیزم ارتباط عامل‌ها از طریق زبان مشترک ۳۵

شکل ۲-۱۱ همسایگی در اتوماتای سلولی دوبعدی ۳۸

شکل ۲-۱۲ همسایگی ون نیومن، مور، اسمیت و کول ۴۲

شکل ۲-۱۳ اتوماتای یادگیر سلولی ۴۳

شکل ۲-۱۴ نام‌گذاری همسایه‌ها ۴۳

شکل ۲-۱۵ ساختار یک سلول اتوماتای یادگیر سلولی با متغیر سراسری ۴۵

شکل ۴-۱ ساختار داخلی عامل کنترل کننده‌ی چراغ راهنمایی i متناظر با چهارراه i ۸۹

شکل ۴-۲ ساختار داخلی اتوماتای یادگیر i ۹۲

شکل ۵-۱ ساختار شبیه‌ساز طراحی شده‌ی سیستم کنترل ترافیکی ۱۰۰

شکل ۵-۲ واحدهای تشکیل دهنده‌ی بخش شبیه‌سازی تولید و مدیریت جریان ترافیکی ۱۰۲

شکل ۵-۳ واحدهای تشکیل دهنده‌ی بخش مدیریت فرایند ترافیک شبیه‌ساز سیستم کنترل ترافیک ۱۰۳

شکل ۵-۴ واحدهای تشکیل دهنده‌ی بخش واحد واسط کاربر شبیه‌ساز سیستم کنترل ترافیک ۱۰۴

شکل ۵-۵ روند تغییرات مقادیر احتمال انتخاب اعمال اتوماتای یادگیر اول ۱۰۸

شکل ۵-۶ مقادیر بردار احتمال انتخاب اعمال اتوماتای یادگیر اول پس از یکنواخت شدن در حالتی که تراکم جریان ترافیکی شمالی و غربی برابر است ۱۰۹
شکل ۵-۷ روند تغییرات مقادیر احتمال انتخاب اعمال اتوماتای یادگیر اول..... ۱۱۰
شکل ۵-۸ مقادیر بردار احتمال انتخاب اعمال اتوماتای یادگیر اول پس از یکنواخت شدن در حالتی که تراکم جریان ترافیکی شمالی و غربی نابرابر است ۱۱۱
شکل ۵-۹ نمودار میانگین زمان‌های انتظار ماشین‌ها در مدل پاداش-جریمه جزئی ۱۱۲
شکل ۵-۱۰ نمودار میانگین زمان‌های انتظار ماشین‌ها در مدل خطی پاداش-جریمه ۱۱۳
شکل ۵-۱۱ نمودار میانگین زمان‌های انتظار ماشین‌ها در مدل خطی پاداش-سکون..... ۱۱۳
شکل ۵-۱۲ نمودار میانگین زمان‌های انتظار ماشین‌ها در مدل چرخه ثابت..... ۱۱۴
شکل ۵-۱۳ نمودار مقایسه‌ای میانگین میانگین زمان‌های انتظار ماشین‌ها در چهار مدل خطی پاداش-جریمه (L_{R-P})، مدل خطی پاداش-جریمه جزئی ($L_{R-\varepsilon P}$)، مدل خطی پاداش-سکون (L_{R-1}) و چرخه ثابت در تراکم ترافیکی بال ۱۱۴
شکل ۵-۱۴ نمودار مقایسه‌ای میانگین میانگین زمان‌های انتظار ماشین‌ها در دو مدل خطی پاداش-جریمه جزئی ($L_{R-\varepsilon P}$) و چرخه ثابت در تراکم متوسط..... ۱۱۷
شکل ۵-۱۵ نمودار میانگین زمان انتظار ماشین‌ها در دو روش چرخه ثابت و پاداش-جریمه جزئی ($L_{R-\varepsilon P}$) در حالت ترکیبی با تراکم متوسط..... ۱۱۹

چکیده

سیستم کنترل ترافیک هوشمند تطابقی، سیستمی است که در آن کنترل وسایل نقلیه در سطح شهر یا دامنه‌ی کاری مربوطه، توسط سیستم‌های رایانه‌ای که دارای درجه‌ای از هوشمندی می‌باشند انجام می‌شود و اغلب این سیستم‌ها دارای توانایی یادگیری از شرایط گذشته و قدرت مدل کردن وضعیت‌های آتی و همچنین کنترل بحران می‌باشند. سیستم‌های کنترل ترافیک متداول، بیشتر مجموعه‌ای از وضعیت‌های ذخیره شده‌ی قبلی همراه با عمل مناسب برای هر وضعیت بوده و به عبارت دیگر، دارای مشکل تطابقی یا مؤثربودن اجرا هستند، در حالی که بسیاری از این سیستم‌ها نیاز به ذخیره‌ی موقعیت‌هایی دارند که پوشاننده‌ی شرایط خاص یا تمام شرایط ترافیکی باشد. برای این منظور، باید یک سیستم کنترلی ترافیک تطابقی وجود داشته باشد که قادر به یادگیری تدریجی تمام شرایط ترافیکی و همچنین مدیریت شرایط خاص باشد. چنین سیستمی برای مؤثربودن اجرا باید از واحدهای کنترل کننده‌ی ترافیکی توزیع شده، که به شکل محلی ترافیک را کنترل کرده و هر یک شرایط محلی محیط خود را یادگرفته و تعامل مناسب و محدود با همسایگان مجاور خود داشته باشند، پیاده‌سازی شود. سیستم‌های کنترل ترافیک هوشمند مرسوم نیز، با داشتن مزیت توانایی یادگیری از شرایط گذشته و عدم نیاز به ذخیره‌ی وضعیت‌های ترافیکی گوناگون همچنان مشکل خارج خط بودن یادگیری را دارند. با این وصف، سیستم موردنظر باید قادر به یادگیری و اجرای همزمان کنترل ترافیکی به منظور کنترل مؤثر جریان ترافیکی باشد. تاکنون روش‌ها و تکنولوژی‌های متعددی برای طراحی یک سیستم کنترل ترافیک مؤثر ارائه شده است که هر یک دارای ضعف‌ها یا قوت‌هایی است. در این پایان‌نامه روشی برای طراحی و پیاده‌سازی کنترل موثر ترافیک شهری ارائه می‌شود که براساس آزمایشات انجام گرفته از روش کنترل ترافیک با چراغ‌های راهنمایی چرخه ثابت دارای کارایی بیشتری است. این روش بر پایه‌ی طراحی واحدهای تصمیم گیرنده‌ی کنترل ترافیک با تکنولوژی سیستم چندعاملی می‌باشد که در این سیستم، عامل‌ها عمل تصمیم‌گیری خود را با استفاده از تکنولوژی اتوماتاهای یادگیر انجام می‌دهند. این سیستم در حقیقت اجرایی جدید از سیستم‌های پیشین مشابه با تلفیق این دو تکنولوژی محاسباتی و پرارزش است. برای انجام این پایان‌نامه، طراحی و پیاده‌سازی محیط شبیه‌سازی مناسب این سیستم انجام و روش ارائه شده در این شبیه‌ساز اجرا گردیده است. روش ارائه شده، برای بدست آوردن مناسب‌ترین نتیجه‌ی اجرا با سه مدل خطی موجود در اتوماتاهای یادگیر و براساس سه پارامتر ارزیابی «متوسط زمان انتظار ماشین‌ها[1]»، «انحراف معیار زمان پاسخگویی[2]» و «توان عملیاتی[3]» مورد مقایسه قرار گرفته است. آزمایشات نشان داد که بکارگیری مدل خطی پاداش جریمه جزئی اتوماتای یادگیر، در این سیستم کنترل ترافیکی، مؤثرتر از دیگر مدل‌های خطی اتوماتاهای یادگیر است. محیط شبیه‌ساز سیستم کنترل ترافیکی طراحی شده برای این پایان، قابلیت بکارگیری در آزمایشات دیگری غیر از این پایان نامه را دارد و می‌تواند در سایر کارهای تحقیقاتی مرتبط با زمانبندهای چراغ‌های راهنمایی در سیستم‌های کنترل ترافیکی نیز مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

کلمات کلیدی: عامل، سیستم‌های چندعاملی، اتوماتای یادگیر، شبیه‌ساز کنترل ترافیک، یادگیری، سیستم کنترل ترافیک.

[1] Average Response Time
[2] Response Time Variance
[3] Throughput

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه

سیستم‌های کنترل ترافیک[۱]، سیستم‌هایی هستند که به مفهوم کلی به منظور کنترل ترافیک استفاده می‌شوند و طیف وسیعی از کاربردها از کنترل و مدیریت جریان ترافیک ماشین‌ها، عابرین پیاده و زمانبندی علائم ترافیکی را دربرمی‌گیرند. این سیستم‌ها دارای ماهیت غیرهوشمند هستند؛ یعنی برای انجام اَعمال ذکر شده، براساس تنظیمات تجربی خود و به شکل ایستا عمل می‌کنند و اغلب در هنگام رخ دادن شرایط بحرانی خاص، قادر به ابتکار عمل نیستند. این درحالیست که در بسیاری موارد و شرایط ترافیکی واقعی، نیاز به نظارت خودکار وجود دارد تا سیستم کنترل ترافیک در صورت وقوع شرایط بحرانی، عکس العمل مقتضی را انجام دهد. برای این منظور باید سیستم کنترل ترافیکی طراحی شود که امکان یادگیری از شرایط و همچنین قابلیت واکنش در برابر شرایط تعریف نشده را نیز داشته باشد. به چنین سیستمی، سیستم کنترل ترافیک هوشمند[1] گویند[۲].

سیستم‌های کنترل ترافیک هوشمند شامل سیستم‌های امنیت، شبیه‌سازی تأثیرات تغییرات زیرساخت‌ها، برنامه‌ریزی برای مسیریابی، بهینه‌سازی حمل و نقل و کنترل هوشمند ابزارهای ترافیکی جهت کنترل ترافیک می‌باشد. بکارگیری چنین سیستم‌هایی برای ارتقاء سیستم بهداشت، محیط زیست، اقتصاد و بسیاری زمینه‌های اجتماعی دیگر مفید است.

هدف از طراحی و بکارگیری این‌گونه سیستم، کنترل روند ترافیک، بهبود جریان‌ها و ازدحام‌های ترافیکی، حداقل نمودن زمان مسافرت، افزایش ظرفیت زیرساخت‌ها، مدل‌سازی ترافیک و مدیریت شرایط و موقعیت‌های خاص ترافیکی حادث شده در محیط به شکلی خودکار و ایمن می‌باشد. مبحث یادگیری در طراحی سیستم‌های کنترل ترافیک به دلیل ایجاد موقعیت استفاده از تجربه و در نتیجه داشتن سیستمی هوشمندتر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

مفهوم یادگیری در سیستم‌های هوشمند را می‌توان به عنوان روش‌ها و تکنیک‌هایی معرفی نمود که به منظور بهبود کارایی سیستم بکار می‌روند. هدف یک سیستم یادگیر، بهینه‌سازی یک عملکرد می‌باشد که امکان شناسایی آن به طور کامل وجود ندارد. با این تعریف می‌توان وظیفه‌ی سیستم یادگیر را به یک مسأله‌ی بهینه‌سازی که بر روی یک مجموعه از پارامترها تعریف شده است کاهش داد و با به‌دست آوردن مجموعه‌ی پارامترهای بهینه، از طریق روش‌های موجود آن را حل نمود.

---

[1] Intelligent Traffic System (ITS)

در جریان عمل کنترل ترافیک، دو فرایند را می‌توان مجزا نمود:

- فرایند ترافیک (انجام اعمال عبور و مرور و اعمال ترافیکی معمول) و
- فرایند کنترل (اتخاذ این تصمیمات که چه وقت و چگونه معیارهای مدیریت ترافیک پویا به منظور بهینه‌سازی فرایند ترافیکی تغییر یابند).

در طراحی سیستمی هوشمند برای فرایند کنترل سیستم‌های کنترل ترافیکی، مدل‌ها و نگرش‌هایی کلی حاکم بوده و همچنین یکسری از پارامترها موجود می‌باشند که بر طراحی و اجرای این گونه سیستم‌ها اثرگذار هستند. کنترل چراغ‌های راهنمایی یک مسئله‌ی بهینه‌سازی پیچیده بوده و هم‌اکنون روش‌های هوشمندی از منطق فازی، شبکه‌های عصبی، الگوریتم‌های تکاملی و یادگیری تقویتی برای حل آن بکار می‌روند[۳].

ترافیک در مناطق شهری اساساً بوسیله‌ی چراغ‌های راهنمایی تنظیم می‌شود و در صورتی که این چراغ‌ها به شکل مناسبی تنظیم نشده باشند می‌توانند باعث افزایش زمان‌های انتظار برای وسایل نقلیه شوند. این پیکربندی متاسفانه هنوز در بسیاری از محیط‌های شهری وجود دارد. بیشتر چراغ‌های راهنمایی بر مبنای قانون چرخه‌ی ثابت عمل می‌کنند که بدان معناست که چراغ‌های راهنمایی پس از طی میزان ثابتی از زمان رنگ خود را تغییر می‌دهند.

البته این عمل بهینه نیست چون چنین سیاستی وضعیت فعلی ترافیک را در چراغ راهنمایی موردنظر به حساب نمی‌آورد و این بدان معناست که شرایطی می‌تواند به وقوع بپیوندد که در آن صفی طولانی از ماشین‌ها به دلیل صفی کوتاه‌تر در انتظار نگه‌داشته شده است (یا بدتر از آن به دلیل سیاست چراغ راهنمایی). چیزی که در این مواقع می‌خواهیم روی دهد آن است که سیاست تصمیم بگیرد که به منظور افزایش جریان ترافیک نهایی، اجازه عبور به صف طولانی‌تر دادن "به نفع" است. البته این نباید منتج به آن شود که ماشین‌ها در بخش کوتاه‌تر چهارراه قادر به ادامه‌ی مسیر خود نباشند.

سوال اینجاست که دقیقاً چگونه این سیاست را تعریف کنیم که شرایط ترافیکی گوناگون را در چهارراه‌های ترافیکی درنظر بگیرد. این کار مانند کدکردن تمام شرایط ترافیکی ممکن در یک چهارراه و پیکربندی چراغ راهنمایی متناظر این وضعیت‌ها به شکلی است که نیاز به زمان و تلاشی غیرمعقول داشته و محتملاً به بازنمایی‌های ناکاملی ختم می‌شود.

یک روش عملی استفاده از تکنیک‌های موجود در زمینه‌ی هوش‌مصنوعی است. چنین روش‌هایی اغلب توانایی سازگاری با بازنمایی‌های عظیمی مانند مسئله‌ای که در فرایند کنترل زمانبندهای چراغ‌های

راهنمایی با آن روبرو هستیم را به شکلی که به روشی خودکار، سیاست صحیح یادگیری شود داراست. روش‌های مختلف هوش مصنوعی هم اکنون برای حل مسئله‌ی زمانبندی چراغ‌های راهنمایی بکار گرفته شده‌اند. نمونه‌هایی از آنها مانند منطق فازی، الگوریتم‌های ژنتیکی، یادگیری تقویتی و اتوماتای یادگیر می‌باشد.

یک ویژگی مشترک بین سیستم‌هایی مانند سیستم‌های کنترل ترافیکی، که در آنها اجزای تشکیل دهنده در نواحی مکانی مختلف قرار داشته و یا به دلیل محدودیت‌های ارتباطی، امکان انتقال تمام اطلاعات بین تمام اجزا وجود ندارد، توزیع‌شدگی و استفاده از سیستم کنترل‌کننده غیرمرکزی می‌باشد. به این ترتیب که در هر جزء یا مجموعه‌ی اجزای این سیستم، کنترل کننده‌هایی قرار دارند که به دلیل مشخصات سیستم تنها قادر به دریافت بخشی از اطلاعات مربوط به بخش‌های مشخصی از سیستم می‌باشند. در این سیستم‌ها ایجاد هماهنگی بین اجزای سیستم کاری دشوار است. از طرف دیگر در بسیاری از این سیستم‌ها عدم قطعیت در اطلاعات و نویزپذیری از ویژگی‌های مشخص و تعیین‌کننده سیستم است که ایجاد این هماهنگی را دشوارتر می‌سازد. به همین دلیل مناسب است که در این سیستم‌ها از تکنولوژی‌هایی که برای مدیریت شرایط توزیع‌شدگی مناسب هستند استفاده نمود.

با توجه به شرایطی که دلالت بر وجود توزیع شدگی در یک سیستم می‌نماید، بدلیل آنکه در سیستم‌های کنترل ترافیک شهری (۱) دانش کافی و لازم برای حل مسئله‌ی ترافیکی کل شهر یا سیستم در یک واحد ترافیکی وجود نداشته؛ (۲) کنترل مرکزی وجود ندارد و هر واحد ترافیکی کنترل خود را به شکل مستقیم فقط روی منطقه‌ی محلی خود اعمال می‌کند؛ (۳) داده‌های کل سیستم ترافیکی به شکل توزیع شده بوده یعنی واحدهای ترافیکی فقط داده‌های مربوط به منطقه‌ی محلی خود و تاحدودی اطلاعات در مورد همسایه‌های خود را دارند و (۴) نیاز به اجرای همزمان محاسبات است؛ لذا سیستم‌های کنترل ترافیکی در دنیای واقعی از نوع توزیع‌شده می‌باشند. به همین دلیل مناسب خواهد بود که برای طراحی یک کاربرد مؤثر و کارا برای این‌گونه سیستم‌ها از یکی از روش‌های طراحی سیستم‌های توزیع‌شده استفاده نمود. سیستم‌های چندعاملی یکی از راهکارهای بسیار قدرتمند توزیع‌شدگی برای طراحی سیستم‌های توزیع‌شده است که ما در این پایان نامه از آن برای طراحی و پیاده‌سازی سیستم کنترل زمانبندی چراغ‌های راهنمایی ترافیکی شهری استفاده نمودیم. روش‌های یادگیری که در سیستم‌های چندعاملی بکارگرفته می‌شود دارای این قابلیت هستند که تحت شرایط در حال اجرا در محیط آموزش دیده و این یادگیری را برای استفاده‌های بعدی ذخیره کنند.

یکی از روش‌های موجود برای یادگیری هوشمند در سیستم‌های چندعاملی، یادگیری تقویتی می‌باشد. ایده‌ی اصلی الگوریتم‌های یادگیری تقویتی که از روی الگوی یادگیری در حیوانات و رفتار انسان اقتباس شده است، بر این اساس عمل می‌کند که در آن هیچ راهنما یا ناظری به صورت مستقیم بر روی چگونگی آموزش در سیستم تمرکز ندارد. این مدل از یادگیری، بر مبنای برخورد غیر مستقیم با تأثیر انتخاب و اِعمال عمل بر روی سیستم بنا شده است. الگوریتم یادگیری در این مدل با بررسی میزان مطلوب بودن نتیجه حاصل از یک عمل در سیستم و به واسطه آن اعمال، اهدای پاداش[۲] یا جریمه[۳] به تمامی اجزایی که در حصول این نتیجه نقش داشته‌اند، سعی در اعمال آموزش به سیستم دارد.

یکی از گونه‌های یادگیری تقویتی، روش مبتنی بر یادگیری از طریق اتوماتای یادگیر می‌باشد که بکارگیری آن در فرایند زمانبندی چراغ‌های راهنمایی سیستم‌های کنترل ترافیک، مشکلات روش‌های ذکرشده را تا حدودی برطرف می‌کند. بدین ترتیب که اولاً بدلیل هوشمند بودن دارای انعطاف‌پذیری برای استفاده در سیستم‌های کنترل ترافیکی می‌باشد؛ ثانیاً به شکل برخط اجرا می‌شود که در نتیجه فاقد تأخیر در فاز اجراست؛ ثالثاً دارای سادگی در امر طراحی و پیاده‌سازی است.

استفاده از اتوماتای یادگیر، تکنیکی است که این گزارش بر آن تأکید دارد. ما از اتوماتای یادگیر برای یادگیری زمانبندی بهینه‌ی چراغ‌های راهنمایی برای هر چهارراه در شهر که توسط عامل پیاده‌سازی کرده‌ایم استفاده نمودیم.

۱-۲- تعریف مسأله و اهداف پایان نامه

فرایند کنترل جریان ترافیکی در یک سیستم کنترل ترافیکی دارای بخش‌های مختلفی می‌باشد که یکی از آنها زمانبندی رنگ‌های چراغ‌های راهنمایی موجود برای کنترل عبور و مرور ماشین‌هاست. روش مورد استفاده برای زمانبندی چراغ‌های راهنمایی به طور مستقیم در فاکتورهایی مانند متوسط زمان انتظار ماشین‌های موجود در سیستم ترافیکی، پایین آوردن هزینه‌های اقتصادی و بطور کلی در کارایی سیستم کنترل ترافیکی، بسیار مؤثر است. یکی از نقاط ضعف عمده‌ی سیستم‌های کنترل ترافیک، روش‌هایی است که تـاکنون برای زمانبندی چراغ‌های راهنمایی ارایـه شده است که عبـارتند از: روش چرخه ثابت، روش‌های تجربی و روش‌های هوشمند خارج خط.

---

[2] Reward
[3] Blame

روش‌های چرخه ثابت در عمل موجب بدست آوردن کارایی قابل قبولی در سیستم نخواهند شد. در طراحی این روش پارامترهایی که برای تنظیم زمانبندی چراغ‌راهنمایی انتخاب می‌شوند بدلیل فقدان انعطاف‌پذیری در هنگام اجرا، در عمل در بهنیه شدن کارایی فرایند زمانبندی کنترل چراغ‌های راهنمایی تأثیری نخواهند داشت. روش‌های زمانبندی تجربی نیز بدلیل عدم تطبیق با کلیه‌ی شرایط ترافیکی و همچنین نداشتن قدرت مدیریت شرایط ترافیکی بحرانی روش مناسبی برای کنترل جریان ترافیکی چهارراه‌ها نیستند. در روش‌های زمانبندی هوش مصنوعی، روش‌های کنترل جریان ترافیکی هوشمند خارج خط، بدلیل آنکه دارای فاز یادگیری و اجرای مجزا می‌باشند دارای تأخیر در هنگام اجرا و همچنین دارای این خطر می‌باشند که در هنگام اجرا شرایط ترافیکی آموخته شده معتبر نباشد. در بین روش‌های زمانبندی موجود روش‌های هوش مصنوعی برخط دارای کارایی مناسبی هستند. روش‌های مبتنی بر یادگیری تقویتی در هوش مصنوعی که در یادگیری عامل‌های هوشمند استفاده می‌شود مشکلات روش‌های ذکرشده را تا حدودی بر طرف کرده است. بدین ترتیب که اولاً بدلیل هوشمند بودن دارای انعطاف‌پذیری لازم برای استفاده در سیستم‌های کنترل ترافیکی می‌باشد؛ ثانیاً گونه‌هایی از این روش به شکل برخط اجرا می‌شود که در نتیجه فاقد تأخیر در فاز اجراست؛ ثالثاً در بهینه کردن پارامترهای ارزیابی روش‌های زمانبندی مؤثر است.

با وجود اینکه روش یادگیری تقویتی در بین روش‌های زمانبندی موجود از کارایی بهتری برخوردار است، اما معایبی نیز دارد که عبارتند از: (۱) پیچیده است، بدین معنی که در نهایت یادگیری سیستم کنترل ترافیک قابل درک نیست (۲) از پارامترهای زیادی در بحث یادگیری استفاده می‌شود. با توجه به اینکه در روش‌های کنترل ترافیک، سادگی و سرعت اجرا از ملاک‌های کارایی یک روش می‌باشد، هر چه محاسبات سریع‌تر و با تعداد پارامترهای کمتری انجام شود، فرایند زمانبندی چراغ‌های راهنمایی با کارایی بیشتری انجام می‌پذیرد.

بنابراین از یک طرف با شناخت و درک اهمیت و تأثیر فرایند زمانبندی چراغ‌های راهنمایی در کارایی سیستم‌های کنترل جریان ترافیک و از طرف دیگر با تجزیه و تحلیل نقاط قوت و ضعف روش‌های موجود زمانبندی چراغ‌های راهنمایی، با هدف بهبود فرایند زمانبندی رنگ‌ها در چراغ‌های راهنمایی در سیستم‌های کنترل ترافیک، درصدد ارائه‌ی روش کاراتری برای زمانبندی چراغ‌های راهنمایی برآمدیم. با توجه به اینکه روش زمان‌بندی یادگیری تقویتی برخط در مجموع نسبت به سایر روش‌های زمانبندی موجود از کارایی بهتری برخوردار است، پس از بررسی نقایص و نقاط ضعفش بر آن شدیم که