بهبود کارایی سامانه‌های پارکینگ‌یار با استفاده از نظریه بازی‌ها

ایوب مامندی[۱]، صالح یوسفی[۲]، رضا ابراهیمی آتانی[۳]
۱- کارشناس ارشد مهندسی فناوری اطلاعات، دانشگاه گیلان، رشت
۲- دکترای مهندسی کامپیوتر، دانشگاه ارومیه، ارومیه
۳- دکترای مهندسی الکترونیک، دانشگاه گیلان، رشت

چکیده

یکی از بزرگ‌ترین مشکلات ناشی از تمایل مردم به شهرنشینی، ازدیاد وسائل نقلیه و کمبود فضای پارک خودرو است. برای مقابله با اثرات جانبی ناشی از جستجوی فضای پارک و ارزیابی کارایی سامانه‌های پارکینگ‌یار، در این مقاله با استفاده از مفهوم نظریه بازی‌ها، یک الگوریتم جستجوی فضای پارک طراحی شده است. بازی طراحی شده در زمره بازی‌های انتخاب منبع و ازدحام قرار دارد. در این بازی، رانندگان به عنوان موجودیت‌های عاقل و خودخواهی فرض شده‌اند که در مرکز یک شهر بزرگ در جستجوی فضای پارک هستند و تلاش می‌کنند هزینه‌های ناشی از اشغال فضای پارک را به حداقل برسانند. معیار سنجش کارایی بازی طراحی شده، نسبت هزینه‌های اجتماعی ناشی از تصمیمات رانندگان در بدترین حالت ممکن بر روی هزینه‌های اجتماعی در حالت بهینه است. از آنجا که در طراحی بازی از تابع پتانسیل استفاده شده است، الگوریتم طراحی شده به صورت بهینه‌ای رانندگان را به مناسب‌ترین فضای پارک ممکن راهنمایی می‌کند. شبیه‌سازی‌های انجام گرفته نشان دادند که این بازی در مقایسه با نمونه‌های مشابه خود از کارایی مناسب‌تری برخوردار است. این بهبود کارایی به صورت قابل توجهی موجب کاهش مصرف سوخت، روان‌تر شدن بار ترافیکی شهرها، اجتناب از اتلاف زمان رانندگان و در نتیجه افزایش رفاه اجتماعی خواهد شد.

کلید واژه: *حمل و نقل هوشمند، جستجوی پارکینگ، سامانه‌های پارکینگ‌یار، نظریه بازی‌ها*

[۱] کارشناس ارشد مهندسی فناوری اطلاعات، ۰۹۱۴۴۴۲۴۷۷۱ a.mamandi@gmail.com
[۲] دانشیار گروه کامپیوتر دانشگاه ارومیه، ۰۴۴۳۱۹۴۲۸۷۷ s.yousefi@urmia.ac.ir
[۳] استادیار گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه گیلان، (۳۰۱۷)۰۱۳۱۶۶۹۰۲۷۴ rebrahimi@guilan.ac.ir

۱- مقدمه

طبق پیش بینی محققان [۱] انتظار میرود تا سال ۲۰۵۰، حدود ۷۰٪ از جمعیت جهان شهرها و مناطق اطراف آن را برای ادامه زندگی خود برگزینند. یکی از اثرات جانبی شهرنشینی ازیاد وسائل نقلیه است. وسائل نقلیه برای افزایش راحتی و آسایش در زندگی روزمره اختراع شده‌اند. با این حال، تراکم خودرو در شهرهای بزرگ باعث مشکلات نامطلوب از جمله مسائل زیست محیطی، مصرف انرژی، کمبود فضای پارک، ترافیک و آلودگی هوا شده است. در میان این موضوعات، مسئله‌ی کمبود فضای پارک به عنوان یکی از بزرگ‌ترین مشکلات به شمار می‌آید چرا که تعداد پارکینگ‌های شهرها محدود بوده و هزینه‌ی ساخت پارکینگ‌های جدید نیز بسیار بالا و سرسام‌آور است. بنابراین رانندگان این وسائل نقلیه برای بدست آوردن فضای پارک می‌بایست با یکدیگر رقابت کنند. کسانی که در این رقابت شکست می‌خورند، یا باید مدت زمانی را (که محاسبه آن بسیار دشوار است) صبر نمایند و یا اینکه برای یافتن فضای پارک جدید، دوباره به رانندگی بپردازند. این عمل نه تنها موجب از دست رفتن زمان برای این رانندگان می‌شود بلکه باعث ازدحام و ایجاد ترافیک در خیابان‌ها نیز می‌گردد. این موضوع مدیریت کارآمد منابع و فرآیندهای شهری را به امری حیاتی تبدیل کرده است.

به همین منظور، در چند سال اخیر تحقیقات دانشگاهی زیادی در خصوص طراحی و توسعه سامانه‌های پارکینگ‌یار[4] بعمل آمده است. به طور کلی، سامانه‌های پارکینگ‌یار اطلاعاتی شامل نزدیک‌ترین پارکینگ نسبت به موقعیت راننده، تعداد فضاهای پارک خالی در پارکینگ، مسیر رسیدن به پارکینگ، هزینه‌ی پارکینگ، مدت زمان لازم برای رسیدن به پارکینگ، فاصله‌ی پیاده‌روی از پارکینگ تا مقصد مورد نظر و غیره را در اختیار راننده قرار می‌دهند. پیشرفت‌های اخیر در تکنولوژی‌های ارتباطاتی که باعث بوجود آمدن شهرهای هوشمند شده‌اند، این نوید را می‌دهد که شبکه‌های بین خودرویی بتوانند در کاهش زمان جستجوی فضای پارک، موثر واقع شوند [۲]. جدیدترین تحقیقات در خصوص سامانه‌های پارکینگ‌یار [۳, ۴] در تلاش برای اضافه کردن یک لایه میدیای اجتماعی بر روی شبکه‌های خودرویی هستند. کاربران اینگونه سامانه‌ها می‌توانند از یک برنامه کاربردی اجتماعی که بر روی تلفن هوشمندشان به اجرا در می‌آید، به منظور به اشتراک‌گذاری دانش خود در خصوص فضای پارکینگ‌ها و یا حتی تحویل و تحول این فضاها بهره جویند تا از این طریق سربار ناشی از جستجوی پارکینگ را به حداقل رسانند.

متاسفانه با وجود تمامی تلاش‌های صورت گرفته در این زمینه، اکثر محققان برای ارزیابی سامانه‌های طراحی شده خود در دنیای واقعی زحمت کمی به خرج داده‌اند. به منظور ارزیابی کارایی سامانه‌های مدیریت پارکینگ، معیارهایی وجود دارد که منعکس کننده نیازهای طرف‌های درگیر، ازدحام ترافیک و حفاظت از محیط زیست است. این معیارها عبارت‌اند از:

---

[4] Parking Guidance Systems

- فاصله پیاده روی: فاصله پیاده روی به فاصله‌ای اطلاق می‌شود که از فضای پارک انتخاب شده توسط راننده تا مقصد اصلی وی وجود دارد. این فاصله، یک عامل مهم برای راننده در تعیین مکان پارک است. معمولا یک راننده دوست دارد خودروی خود را در نزدیک‌ترین مکان ممکن به مقصد پارک نماید. بنابراین فاصله پیاده روی نشان دهنده میزان رضایت رانندگان است.
- درآمد ارائه دهندگان پارکینگ: صرف‌نظر از اینکه یک پارکینگ مطعلق به بخش خصوصی یا شهرداری است، درآمد پارکینگ نشان‌دهنده سودمندی و نفع ارائه دهندگان پارکینگ است. از آنجا که چندین بخش در سامانه‌های پارکینگ‌یار درگیر هستند، باید سعی شود که فقط درآمد ارائه دهندگان خدمات مد نظر نباشد و جنبه‌های دیگر را نیز در نظر گرفت. اما باید به ارائه دهندگان نیز اجازه داد تا در یک سطح قابل قبول کسب درآمد نمایند.
- تمایز خدمات: معمولا یک راننده دوست دارد حداقل هزینه ممکن را بابت پارکینگ بپردازد و برای مقوله پارکینگ یک بودجه خاص را اختصاص می‌دهد. در مناطق شلوغ، منابع پارکینگ محدود هستند. به منظور کاهش رقابت بر سر منابع پارکینگ و حفظ درآمد قابل قبول برای ارائه دهندگان خدمات، سامانه مدیریت پارکینگ بایستی بین رانندگان بر اساس بودجه و نیازهای آن‌ها تفاوت قائل شود.
- ترافیک برآمده از جستجوی پارکینگ: ترافیک تولیدشده به وسیله رانندگان در فرآیند جستجوی فضای پارک قابل چشم‌پوشی نبوده و نشان دهنده میزان رفاه اجتماعی است. از این‌رو، یک سامانه‌ی پارکینگ‌یار کارا بایستی ترافیک برآمده از جستجوی فضای پارک را به‌صورت موثری کاهش دهد.

کارایی سامانه‌های پارکینگ‌یار وابسته به نوع تصمیم‌گیری رانندگان برای انتخاب یک فضای پارک است. این سامانه‌ها از جنبه نوع تصمیم‌گیری به دو دسته‌ی عمده تقسیم می‌شوند. در دسته اول (که قسمت اعظم تحقیقات در این زمینه صورت پذیرفته است)، سامانه‌ی پارکینگ‌یار بدون آنکه پیشنهادی در خصوص انتخاب فضای پارک به راننده ارائه دهد، تنها اطلاعاتی مربوط به میزان منابع پارکینگ در دسترس و هزینه‌های ناشی از آن را در اختیار وی قرار می‌دهد. لذا هر راننده بر اساس اطلاعات خامی که از اینگونه سامانه‌ها کسب کرده است تصمیم می‌گیرد که کدام فضای پارک برای وی مناسب‌تر است. دسته دوم، سامانه‌هایی هستند که بوسیله یک عامل نرم افزاری نصب شده بر روی خودرو، به راننده پیشنهاد می‌دهند که کدام فضای پارک را برگزیند [۵].

در این مقاله، سعی شده است با ارائه راهکاری جدید، میزان کارائی سامانه‌های جستجوی فضای پارک مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرند. سپس نتایج بدست آمده، با کارهای مشابه مقایسه شده است. نتایج حاصل از مقایسه نشان دهنده بهره‌وری بهتر الگوریتم طراحی شده در این مقاله نسبت به نمونه‌های پیشین است. فرآیند تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب محل پارکینگ از طریق مفهوم نظریه بازی‌ها انجام پذیرفته است. در روش نظریه بازی‌ها، کلیه رانندگان از میزان عرضه فضای پارک اطلاعات دقیقی در اختیار دارند اما میزان اطلاعات هر راننده راجع به تعداد رقبا با دیگران متفاوت است. در این روش، هر راننده به عنوان یک عامل استراتژیک عاقل خودخواه فرض شده است

که به واسطه پردازش اطلاعاتی که در اختیار دارد، تمامی تلاش خود را به خرج می‌دهد تا هزینه‌هایی که بابت فضای پارک می‌پردازد را به حداقل برساند. در این الگوریتم، هر راننده حق انتخاب یک فضای پارک ارزان قیمت کنار خیابانی یا یک فضای پارک گران قیمت در پارکینگ خصوصی را خواهد داشت. اگر چه پارکینگ‌های خصوصی به تعداد نامحدود دارای فضای پارک هستند اما تعداد فضاهای پارک کنار خیابانی، محدود است. لذا همواره رانندگان برای دست‌یابی به چنین فضاهای پارکی مجبور به شرکت در رقابت با یکدیگر هستند. آن دسته از رانندگانی که تصمیم به اخذ یک فضای پارک کنار خیابانی می‌گیرند، می‌بایست ریسک شکست در رقابت و در نتیجه، پرداخت هزینه‌های اضافی (ناشی از ترافیک، مصرف سوخت، استرس و غیره) به منظور رسیدن به پارکینگ خصوصی را به جان بخرند.

ادامه مقاله به شرح زیر است. در بخش ۲ به بررسی کارهای مرتبط با این مقاله پرداخته شده است. بخش ۳، بازی ایستای انتخاب فضای پارک را فرموله‌بندی کرده است. سپس به منظور استخراج و بررسی میزان کارایی استراتژی-های تعادل، بازی ارائه شده بوسیله معیار PoA[5] مورد ارزیابی قرار گرفته است. مقایسه بازی‌های طراحی شده با نمونه‌های پیشین در بخش ۴ آورده شده است. نتایج حاصل از مقایسه بیانگر کارایی بهتر الگوریتم طراحی شده در این مقاله نسبت به کارهای پیشین است. در نهایت، مقاله با خلاصه نمودن عمده یافته‌های تحقیق، در بخش ۵ نتیجه‌گیری شده است.

۲- کارهای مشابه

در [۶] محققان یک سامانه پارکینگ‌یار مبتنی بر رزرو را ارائه داده‌اند. سامانه پیشنهادی آن‌ها خدمات رزرو پارکینگی را ارائه می‌دهد که بر روی وضعیت‌های کل پارکینگ‌های موجود در یک منطقه متمرکز است (به جای نظارت بر روی تنها یک پارکینگ). با ارایه‌ی سرویس رزرو بلادرنگ، رانندگان می‌توانند فضای پارک مورد نظر خود را به سرعت پیدا و رزرو نمایند. بنابراین مصرف سوخت و اتلاف زمان در فرآیند جستجوی فضای پارکینگ کاهش می‌یابد. محققان در مدل پیشنهادی خود، به منظور جلب رضایت سلایق مختلف از طرح قیمت‌گذاری پویا استفاده کرده‌اند. طرح قیمت‌گذاری پویا به منظور تولید درآمد بیشتر پارکینگ‌ها، ارایه‌ی خدمات مختلف به رانندگان مختلف و کاهش ازدحام برآمده از جستجوی فضای پارک طراحی شده است.

نویسندگان [۷] سامانه‌ای با نام EZpark را طراحی نموده‌اند که در آن به وسیله‌ی دو نشانه RFID به مشتریان در ورودی پارکینگ راهنمایی داده می‌شود که خودروی خود را در کجا پارک نمایند. یکی از این دو نشانه از طریق خودرو و دیگری از طریق کاربر اخذ می‌شوند. نشانه‌ی RFID درون خودرو تعیین می‌کند که کاربر بایستی خودروی خود را در کجا پارک نماید. تمامی ورودی پارکینگ به وسیله‌ی خوانندگان RFID پر شده است. مشکل اساسی این

[5] Price of Anarchy

سامانه این است که ممکن است به مشتری A بگوید در فضایی پارک کند که مشتری B در راه رسیدن به آن است. در چنین حالتی مشتریان یا به وسیله راهنمایی اولیه قادر به یافتن یک محل پارک خواهند شد و یا اینکه مجبور می‌شوند دوباره به ورودی پارکینگ برگشته تا یک راهنمایی دیگر دریافت نمایند.

در [۸] سامانه جستجوی پارکینگ با استفاده از شبکه‌های حسگر بی‌سیم معرفی شده است که PARKNET نام‌گذاری شده است. در این سامانه دو حسگر اولتراسونیک در دو سمت خودرو نصب می‌شود. هنگامیکه خودرو در حال عبور از مناطق مختلف است، اطلاعاتی درباره فضاهای پارک خالی اطراف را جمع‌آوری می‌نماید. این اطلاعات از طریق شبکه بی‌سیم به یک میزبان اینترنتی فرستاده می‌شود. سپس، سامانه دو مجموعه داده را در یکدیگر ادغام کرده و نقشه‌های رنگی را که نشان می‌دهند پارکینگ‌های کنار خیابانی در کجا در دسترس هستند و در کجا اشغال شده‌اند را توسعه می‌دهد.

در [۵] محققان از روش نظریه بازی‌ها برای طراحی یک سامانه جستجوی پارکینگ بهره گرفته‌اند. تمرکز اصلی مقاله به تاثیر میزان اطلاعات بر روی تصمیمات رانندگان معطوف شده است. نویسندگان به این نتیجه رسیده اند که در محیط‌های غیر همکارانه که هر بازیگر تنها به دنبال ماکزیمم کردن سود خود است، انتشار اطلاعات بر روی کارایی فرآیند جستجوی پارکینگ تاثیر دو جانبه‌ای دارد؛ از یک طرف به یافتن آسان‌تر فضای پارک کمک می‌کند اما از طرف دیگر شدت رقابت بر سر این فضای پارک را نیز افزایش می‌دهد. لذا محققان [۹] به منظور بررسی کارایی سامانه‌های جستجوی پارکینگ غیر متمرکز دست به طراحی یک بازی همکارانه زده‌اند. آنها با ایجاد تغییر در ماتریس ترجیحات، بازی را به شکلی در آورده‌اند که هزینه شکست یک راننده بر روی هزینه‌های راننده پیروز در رقابت نیز تاثیر می‌گذارد. به همین دلیل رانندگان تا حد امکان سعی می‌کنند برای تعدیل در هزینه‌های خود، با یکدیگر همکاری کنند. طبق ادعای نویسندگان بوسیله این روش، هزینه نهایی بازیگران شرکت کننده در رقابت کاهش یافته و در نتیجه کارایی کلی سامانه جستجوی پارکینگ افزایش می‌یابد. نویسندگان [۱۰] شرایطی از بازی انتخاب فضای پارک را تعریف کرده‌اند که در آن، رانندگان از اطلاعات سایرین (که در موقعیت مکانی دیگری قرار دارند) بهره‌برداری می‌کنند تا یک فضای پارک خالی را در نزدیک‌ترین مکان به خود، بیابند. در روش آنها، مسافت بین فضای پارک انتخاب شده تا مقصد واقعی راننده نادیده انگاشته شده است. نویسندگان به منظور پی بردن یا تقریب زدن حالات تعادل نش[6] بازی، الگوریتم‌های تخصیص فضای پارک توزیع شده‌ای را ارائه نموده و سپس مدل خود را با الگوریتم حریصانه Naive مقایسه نموده‌اند.

[6] Nash Equilibrium

۳- مدل‌سازی بازی انتخاب فضای پارک

در مقاله ارائه شده، بازیگران رانندگانی (D) هستند که در مرکز یک شهر پرجمعیت به دنبال یافتن یک فضای پارک می‌گردند. پارکینگ‌ها به دو دسته پارکینگ کنار خیابانی و پارکینگ خصوصی تقسیم شده‌اند. به طور معمول، در این مناطق از شهر پارک نمودن خودرو در کنار خیابان باعث بوجود آمدن ازدحام و ترافیک می‌شود. لذا تعداد فضاهای پارک کنار خیابانی (P_{os}) بسیار محدود است. از این رو رانندگانی که قصد سفر به چنین مناطقی را دارند بایستی تصمیم بگیرند که آیا مستقیما به یک پارکینگ گران قیمت خصوصی که دارای تعداد نامحدودی فضای پارک است عزیمت کنند و یا اینکه بر سر تصاحب یک فضای پارک ارزان قیمت کنار خیابانی با سایرین به رقابت بپردازند. بازی به گونه‌ای در نظر گرفته شده است که برای راننده‌ای که تصمیم به تصاحب فضای پارک کنار خیابانی دارد هیچ تفاوتی نمی‌کند که خودروی خود را در کجای خیابان پارک نماید. در واقع تمام امتداد خیابان به عنوان یک پارکینگ واحد در نظر گرفته شده است و ارزش آن برای تمامی رانندگان یکسان است. این موضوع در مورد پارکینگ‌های خصوصی نیز بر همین منوال است و برای رانندگان تفاوتی نمی‌کند کدام پارکینگ خصوصی منطقه را انتخاب نمایند. بنابراین، هر راننده برای تصمیم‌گیری خود به جای آنکه چندین مجموعه جداگانه را مد نظر قرار دهد، تنها با دو مجوعه پارکینگ کنار خیابانی و یا پارکینگ خصوصی روبروست. فرض دیگری که در بازی لحاظ شده است این است که رانندگان از میزان ظرفیت پارکینگ‌ها، قیمت هر کدام از آنها و احتمال یافتن یک فضای خالی در هر کدام از آنها آگاهی کامل دارند. تمام رانندگان تصمیم خود را به صورت همزمان اتخاذ می‌نمایند و هر راننده فضای پارک انتخابی خود را برای طولانی مدت اشغال می‌کند. مثلا کسانیکه محل کارشان در این مناطق از شهر واقع شده است، خودروی خود را از ابتدای صبح تا پایان ساعات کاری در محل پارک باقی نگه می‌دارند.

با این تفاسیر، بازی معرفی شده را می‌توان به عنوان نمونه‌ای از بازی‌های استراتژیک انتخاب منبع فرموله‌بندی کرد. در این نوع از بازی‌ها، N بازیگر برای تصاحب تعداد محدودی از منابع عمومی با یکدیگر به رقابت می‌پردازند [۱۱].

تعریف ۱: یک بازی استراتژیک انتخاب فضای پارک، یک چندتایی[۷] $\Gamma(D)$ است که در آن

$$\Gamma(D) = (D, P_{os}, (A_i) i \in D, (CF_j) j \in (os, priv)$$

- $D = \{1, \dots, D\}, D > 1$ مجموعه رانندگانی که در پی یافتن فضای پارک خودرو هستند.
- P_{os}, $|P_{os}| \geq 1$ تعداد فضاهای پارک خودروی کنار خیابانی را شامل می‌شود.
- P_{pr}, $|P_{pr}| \geq D$ بیانگر تعداد فضای پارک خودروی موجود در پارکینگ‌های خصوصی است.
- $A_i = \{os, priv\}$ نماد مجموعه عمل هر راننده $i \in D$، شامل عمل‌های On-Street (os) و Private $(priv)$ است.

[7] Tuple

- $CF_{os}(\cdot)$ بیانگر تابع هزینه فضای پارک کنار خیابانی است.
- $CF_{pr}(\cdot)$ تابع هزینه پارکینگ خصوصی را نشان می‌دهد.

بازی انتخاب فضای پارک را می‌توان یک خانواده وسیع‌تر از بازی‌های ازدحام[8] نیز در نظر گرفت. چرا که ترجیحات بازیگران آن، یک تابع غیر نزولی از تعداد بازیگرانی است که بر سر ظرفیت پارکینگ با یکدیگر به رقابت می‌پردازند. در واقع، اینکه کدام راننده کدام فضای پارک را برمی‌گزیند اهمیتی ندارد بلکه مهم این است که چه تعداد از رانندگان قصد رفتن به کدام نوع از پارکینگ‌ها را دارند. آن دسته از رانندگان که در رقابت پیروز می‌شوند، هزینه‌ی C_{os} را در واحد زمان می‌پردازند اما آنهایی که در رقابت شکست می‌خورند (به دلیل اتمام ظرفیت پارکینگ)، مجبورند پس از صرف هزینه‌های برآمده از اتلاف زمان و مصرف سوخت (C_{ex})، سرانجام به پارکینگ‌های خصوصی مراجعه نمایند. لذا دسته‌ی دوم از رانندگان هزینه‌ی $C_{ex} + C_{pr}$ را خواهند پرداخت. اگر از میان D راننده‌ای که در بازی حضور دارند، $n \geq P_{os}$تای آن‌ها در رقابت شرکت کنند، P_{os}/n درصد آن‌ها پیروز خواهند شد و لذا $L_{os} = 1 - P_{os}/n$ درصد آن‌ها نیز شکست می‌خورند.**Error! Reference source not found.**

ادعای ۱: هزینه‌ی مورد انتظار برای عمل $os, C_{os}\ A_1 \times \ldots \times A_D \to R$ تابعی از n راننده‌ای است که در رقابت شرکت می‌کنند و برابر است با:

$$CF_{os}(n) = L_{os} \cdot (C_{ex} + C_{pr}) + (1 - |L_{os}|) \cdot (C_{os}) = C_{os} + L_{os} \cdot (C_{ex} + C_{pr} - C_{os}) \qquad (۱)$$

از سوی دیگر، هزینه‌ی رانندگانی که از شرکت در رقابت سرباز می‌زنند و مستقیما به پارکینگ خصوصی مراجعه می‌نمایند برابر خواهد با:

$$CF_{pr} = C_{pr} \qquad (۲)$$

۳-۱- تعادل نش بازی انتخاب فضای پارک

در مقاله حاضر، برای استخراج و بررسی میزان کارایی استراتژی‌های تعادل بازی، از مفاهیم و نتایج تئوریک [۵, ۱۲] بهره‌برداری شده است. در بازی انتخاب فضای پارک، یک پروفایل عمل یک بردار $a = (a_i, a_{-i}) \in \times_{n=1}^{D} A_n$ است که در آن a_{-i} نشان دهنده عمل تمامی بازیگران تحت پروفایل a به غیر از بازیگر i است.با توجه به اینکه بازیگران این بازی عاقل هستند، تمامی آن‌ها تمایل دارند که هزینه‌های خود را به حداقل برسانند. بنابراین برای یافتن تعادل نش بازی، می‌بایست حالاتی مورد بررسی قرار گیرند که در آن بازیگران با تغییر استراتژی خود به سود بیشتری دست می‌یابند. لذا محققان [۵] ادعا کرده‌اند که تعادل نش بازی ممکن است در یکی از حالات زیر رخ دهد:

- در شرایطی که $D \leq m_{NE}$، یک پروفایل تعادل نش a' منحصربفرد برابر با $m(a') = D$ است.

[8] Congestion Games

- در شرایطی که $D > m_{NE}$ و m_{NE} یک عدد صحیح نباشد، $\binom{D}{\lfloor m_{NE} \rfloor}$ پروفایل تعادل نش a^* با $m(a^*) = \lfloor m_{NE} \rfloor$ برابر خواهند
- در شرایطی که $D > m_{NE}$ و m_{NE} یک عدد صحیح باشد، $\binom{D}{m_{NE}}$ پروفایل تعادل نش a^* با m_{NE} و $\binom{D}{m_{NE}-1}$ پروفایل تعادل نش a^* با $m_{NE} - 1$ برابر خواهند بود.

آنان همچنین برای محاسبه هزینه‌های اجتماعی، هزینه‌ی اجتماعی بهینه و بررسی کارائی روش ارائه شده خود به ترتیب از رابطه‌های ۳،۴ و ۵ استفاده نموده‌اند:

$$C_{Soc}(m_{NE}) = \begin{cases} D \cdot C_{pr} + m_{NE} \cdot (C_{os} - C_{pr}), & if\ \ m_{NE} \le P_{os} \\ D \cdot C_{pr} + P_{os} \cdot (C_{os} - C_{pr} - C_{ex}) + m_{NE} \cdot C_{ex}, & if\ m_{NE} > P_{os} \end{cases} \quad (۳)$$

$$C_{opt} = min(D, P_{os}) \cdot C_{os} + max\ (0, D - P_{os}) \cdot C_{pr} \quad (۴)$$

$$PoA = \begin{cases} \dfrac{min(D, P_{os}) \cdot (C_{os} - C_{pr} - C_{ex}) + D \cdot (C_{ex} + C_{pr})}{min(D, P_{os}) \cdot C_{os} + max\ (0, D - P_{os}) \cdot C_{pr}}, & if\ \ m_{NE} \ge D \\ \dfrac{D \cdot C_{pr} + P_{os} \cdot (C_{os} - C_{pr} - C_{ex}) + \lfloor m_{NE} \rfloor \cdot C_{ex}}{min(D, P_{os}) \cdot C_{os} + max\ (0, D - P_{os}) \cdot C_{pr}}, & if\ \ m_{NE} < D \end{cases} \quad (۵)$$

که در آنها m_{NE} تعداد بهینه رانندگانی هستند که می‌بایست در رقابت بر سر فضای پارک کنار خیابانی شرکت کنند. در رابطه ۶، مهمترین فاکتور در کارایی سامانه طراحی شده، مقدار m_{NE} است. چرا که اکثر کسانی که در رقابت بر سر فضای پارک کنار خیابانی شرکت می‌کنند، مجبورند پس از صرف هزینه‌های اضافی سرانجام به پارکینگ خصوصی مراجعه نمایند. در نتیجه این دسته از رانندگان، بیشترین تاثیر منفی را بر روی هزینه‌های اجتماعی و کارایی سامانه خواهند گذاشت.

ادعای ۲: مناسب ترین مقدار برای فاکتور m_{NE} برابر است با:

$$m_{NE} = P_{os} \cdot \frac{C_{ex} + C_{pr} - C_{os}}{C_{ex} + C_{os}} \quad (۶)$$

اثبات: در این مقاله برای یافتن مقدار m_{NE} مناسب، بازی انتخاب فضای پارک به عنوان یک بازی متقارن در نظرگرفته شده است. مجموعه عمل این بازی شامل دو عمل احتمالی os و $priv$ است. در [۱۳] اثبات شده است که هر بازی متقارنی که شامل دو استراتژی باشد، در استراتژی‌های خالص دارای یک تعادل خواهد بود. از روی تقارن بازی می‌توان نشان داد که تمامی 2^D پروفایل‌های عمل مختلف بازی را می‌توان در $D + 1$ متا پروفایل $(m, D - m)$ نگاشت کرد. هر متاپروفایل $a(m)$ نشان دهنده‌ی تعداد رانندگانی است که تصمیم دارند بر سر فضای پارک کنار خیابانی با یکدیگر به رقابت بپردازند. هزینه‌های مورد انتظار برای این m راننده رقیب و $D - m$ راننده‌ای که قصد دارند مستقیما به پارکینگ خصوصی مراجعه نمایند (بدون شرکت در رقابت)، به جای آنکه تابعی از پروفایل واقعی باشد، تابعی از متاپروفایل $a(m)$ است. از آنجا که بازی انتخاب فضای پارک مورد بحث در زمره‌ی

بازی‌های ازدحام نیز قرار دارد، دقیقا یک تابع پتانسیل $\Phi(\cdot)$ را خواهد پذیرفت [۱۴]. تابع پتانسیل این بازی، به طور موثری تابعی از m است و می‌توان نوشت:

$$\Phi(a) \sim \Phi(m) = \sum_{j \in D} \sum_{k=0}^{n_j(a)} CF_j(k) \tag{۷}$$

که در آن، $n_j(a)$ تعداد رانندگانی هستند که تحت پروفایل a از منبع j استفاده می‌کنند. بنابراین برای $m < P_{os}$

$$\Phi(m) = (D - m) \cdot C_{pr} + \sum_{k=1}^{m} C_{os} = D \cdot C_{pr} + m \cdot (C_{os} - C_{pr}) \tag{۸}$$

به عبارت دیگر، اگر تعداد شرکت کنندگان در رقابت، از تعداد فضاهای پارک کنار خیابانی کمتر باشد، تمامی رقبا در این فضاها مستقر می‌شوند و هیچکدام از آن‌ها مجبور به پرداخت هزینه‌های اضافی نیستند. آن دسته از رانندگان نیز که در رقابت شرکت نکرده‌اند، هزینه‌ی پارکینگ خصوصی را خواهند پرداخت. اما اگر $m > P_{os}$

$$\begin{aligned}
\Phi(m) &= (D - m) \cdot C_{pr} + \sum_{k=1}^{m} C_{os} + \left(1 - \frac{P_{os}}{k}\right) \cdot (C_{ex} + C_{pr} - C_{os}) \\
&= (C_{ex} + C_{pr} - C_{os}) \cdot \left[\left(\frac{P_{os}}{1} + \frac{P_{os}}{2} + \cdots + \frac{P_{os}}{P_{os}}\right) + \left(\frac{P_{os}}{P_{os}+1} + \frac{P_{os}}{P_{os}+2} + \cdots + \frac{P_{os}}{m}\right)\right] \\
&= (C_{ex} + C_{pr} - C_{os}) \cdot P_{os} \cdot \left[(H_{P_{os}} - H_1) + (H_m - H_{P_{os}+1})\right] \\
&= (C_{ex} + C_{pr} - C_{os}) \cdot P_{os} \cdot -\frac{1}{m^2}
\end{aligned} \tag{۹}$$

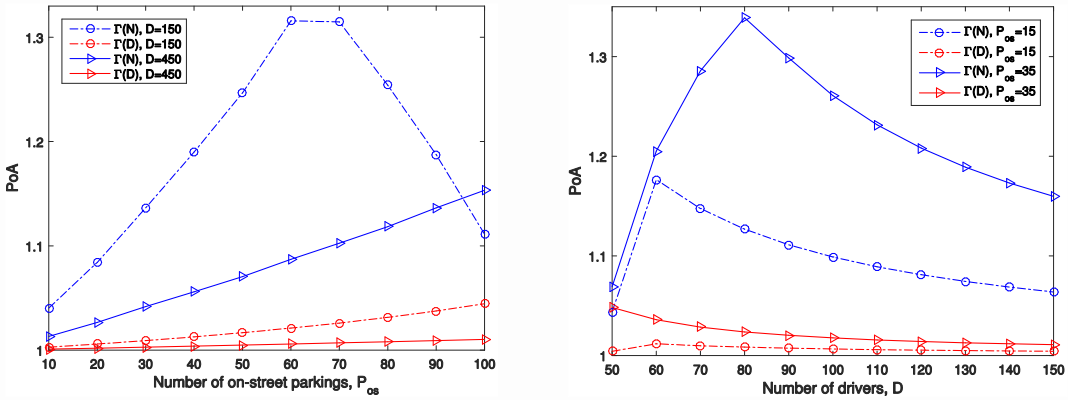
که در آن $H_n = e + \log(n) + O(1/n)$ عدد nام هارمونیک و e ثابت اویلر هستند. در بازی‌های ازدحام، استراتژی‌های تعادل نش خالص برابر با مینیمم محلی تابع پتانسیل خواهند شد. لذا برای $m < P_{os}$ مشتق تابع پتانسیل نسبت به m از صفر کوچکتر خواهد بود و در نتیجه، مینیمم از m بدست می‌آید. اما برای $m > P_{os}$ ، می‌بایست $\frac{\partial \Phi(m)}{\partial m} = 0$ باشد، لذا

$$\begin{aligned}
&(D - m) \cdot C_{pr} + \sum_{k=1}^{m} C_{os} + \left(1 - \frac{P_{os}}{k}\right) \cdot (C_{ex} + C_{pr} - C_{os}) \\
&= C_{os} \cdot \left[(C_{pr} \cdot D) + (C_{ex} \cdot m) + (m \cdot C_{os}) + (C_{ex} + C_{pr} - C_{os}) \cdot P_{os} \cdot (H_m - H_{P_{os}+1})\right] \\
&= C_{os} \cdot \left[P_{os} \cdot (C_{ex} + C_{os}) - P_{os} \cdot (C_{ex} + C_{pr} - C_{os}) \cdot \frac{1}{m^2}\right] \\
&\frac{\partial \Phi(m)}{\partial m} = 0 \Rightarrow C_{ex} + C_{os} = P_{os} \cdot (C_{ex} + C_{pr} - C_{os}) \cdot \frac{1}{m_{NE}} = 0 \\
&\Rightarrow m_{NE} = P_{os} \cdot \frac{(C_{ex} + C_{pr} - C_{os})}{C_{ex} + C_{os}}
\end{aligned} \tag{۱۰}$$

۴- نتایج عددی

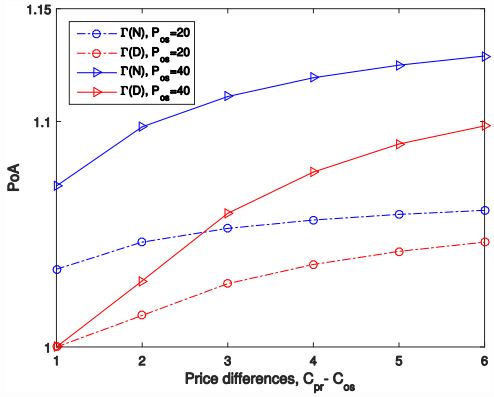
علامت‌گذاری نمادها در این بخش به این صورت است که بازی استراتژیک طراحی شده در این مقاله با $\Gamma(D)$ و بازی ارائه شده در [۵] با $\Gamma(N)$ نامگذاری شده‌اند. مدل طراحی شده از جنبه تعداد کلی رانندگان، تعداد فضاهای پارک موجود، اختلاف قیمت بین پارکینگ‌های کنار خیابانی و خصوصی و تعداد رانندگان شکست خورده در رقابت بر سر فضای پارک کنار خیابانی با نمونه‌های مشابه خود مورد مقایسه قرار گرفته است. برای انجام این مقایسه تاثیرات فاکتورهای معرفی شده بر روی میزان PoA و هزینه‌های اجتماعی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. PoA معادل نسبت هزینه‌های اجتماعی ناشی از تصمیمات رانندگان در بدترین حالت ممکن بر روی هزینه‌های اجتماعی در حالت بهینه است. باید توجه داشت که مقدار m_{NE} در روش $\Gamma(N)$ برابر با $N_0 = P_{os} \cdot ((C_{ex} + C_{pr} - C_{os}))/C_{ex}$ است و این در حالی است که طی محاسبات انجام گرفته ثابت گردید که مقدار بهینه‌تری نیز برای m_{NE} وجود دارد که برابر با رابطه ۶ است (در روش $\Gamma(D)$ از رابطه ۶ استفاده شده است).

در شکل ۱ از طرح ثابت قیمت‌گذاری $C_{os} = 2, C_{pr} = 5, C_{ex} = 3$ استفاده شده است. این شکل بیانگر تاثیر تعداد کلی رانندگان (الف) و تعداد فضای پارک کنار خیابانی (ب) بر روی معیار PoA است. همانگونه که قبلا ذکر گردید، کارایی سامانه‌های پارکینگ‌یار بسیار وابسته به تعداد رانندگانی است که در رقابت شرکت می‌کنند. در روش $\Gamma(N)$، با افزایش تعداد کلی رانندگان، میزان PoA نیز افزایش می‌یابد. این افزایش تا زمانیکه تعداد کلی رانندگان با مقدار N_0 برابری کند، ادامه خواهد یافت. با توجه به اینکه پس از رسیدن به این نقطه دیگر به رانندگان بیشتری اجازه‌ی شرکت در رقابت داده نخواهد شد، میزان PoA رو به کاهش می‌نهد. اما در روش $\Gamma(D)$، با توجه به اینکه m_{NE} مقدار بسیار بهینه‌تری نسبت به همتای خود دارد، مقدار PoA نسبت به افزایش تعداد رانندگان واکنش آنچنانی نشان نمی‌دهد. مقایسه‌ی روش‌های $\Gamma(N)$ و $\Gamma(D)$ از جنبه تاثیرگذاری تعداد رانندگان بر روی معیار PoA بیانگر کارآمدتر بودن قابل توجه روش $\Gamma(D)$ است. چرا که مقدار PoA روش $\Gamma(D)$ به یمن مناسب‌تر بودن مقدار m_{NE} همواره بسیار نزدیک به حالت بهینه است (شکل ۱الف). از طرف دیگر، اگر تعداد کلی رانندگان ثابت بوده و تعداد فضاهای پارک کنار خیابانی در حال افزایش باشد، باز هم در روش $\Gamma(D)$ تا زمانیکه $D \geq N_0$ باشد، مقدار PoA در حال افزایش خواهد بود. و از آن نقطه به بعد است که سیر نزولی PoA شروع می‌شود. گرچه در روش $\Gamma(D)$ نیز این امر صدق می‌کند اما شیب افزایش مقدار PoA در روش $\Gamma(D)$ نسبت به روش $\Gamma(N)$ ناچیز است. از شکل ۱ب می‌توان نتیجه گرفت که در این حالت نیز، $\Gamma(D)$ عملکرد بهتری داشته و به حالت بهینه نزدیک‌تر است.



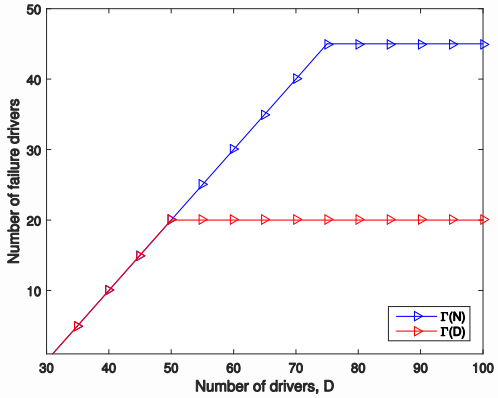
(ب) (الف)

شکل۱: PoA به عنوان تابعی از الف) تعداد کلی رانندگان، ب) تعداد فضای پارک کنار خیابانی



شکل ۲: PoA به عنوان تابعی از اختلاف قیمت بین فضای پارک کنار خیابانی و پارکینگ خصوصی با $D = 300$

شکل ۲، میزان تاثیر اختلاف قیمت بین پارکینگ کنار خیابانی و پارکینگ خصوصی را بـر روی مقـدار PoA، در دو روش $\Gamma(N)$ و $\Gamma(D)$ نشان می‌دهد. همانگونه که قابل مشاهده است، با افزایش اختلاف قیمت بین پارکینـگ‌هـای کنار خیابانی و خصوصی، در هر دو روش، مقدار PoA نیز افزایش می‌یابد. این رخداد به این علت است که هـر چـه پارکینگ‌های خصوصی قیمت خود را بالاتر ببرند، به تعداد افرادی که برای بدست آوردن فضای پارک ارزان قیمـت تلاش خواهند کرد، افزوده خواهد شد. اما با توجه به اینکه این نوع از فضاهای پارک محدود هستند، افزایش تعـداد رقبا باعث افزایش تعداد کسانی می‌شود که در رقابت شکست می‌خورند. در نتیجه، تعداد زیادی از رانندگان مجبـور به پرداخت هزینه‌های اضافی خواهند شد. با ازدیاد هزینه‌ها، از کارایی سـامانه کاسـته شـده و مقـدار PoA افـزایش خواهد یافت. مقایسه دو روش نشان می‌دهد که حتی در چنین شرایطی نیز $\Gamma(D)$ از $\Gamma(N)$ بهتر عمل نموده است.



شکل ۳: *تعداد رانندگان شکست خورده در رقابت به عنوان تابعی از تعداد کلی رانندگان با طرح ثابت قیمت‌گذاری*

$$C_{os} = 1, C_{pr} = 4, C_{ex} = 2$$

یکی از مهم‌ترین فاکتورهای کارایی در فرآیند جستجوی فضای پارک، تعداد کمتر رانندگان شکست خورده در رقابت است. به عبارت دیگر، هر چه این تعداد کمتر باشد، کارایی روش ارائه شده بالاتر خواهد بود. شکل ۳، بیانگر تعداد رانندگانی است که در رقابت بر سر فضای پارک کنار خیابانی در دو روش $\Gamma(N)$ و $\Gamma(D)$ با شکست مواجه شده‌اند. همانگونه که مشخص است، هنگامیکه تعداد کلی رانندگان کمتر از m_{NE} باشد، هر دو روش همانند یکدیگر عمل خواهند نمود. اما با رسیدن به مرز m_{NE}، الگوریتم موجود در روش $\Gamma(D)$ مانع از شرکت جستن تعداد بیشتری از رانندگان در رقابت می‌شود و لذا سیر صعودی رانندگان شکست خورده در رقابت نیز متوقف می‌شود. از طرف دیگر، این سیر صعودی برای روش $\Gamma(N)$ تا رسیدن به مرز N_0 ادامه پیدا خواهد کرد و از این نقطه به بعد است که تعداد رانندگان شکست خورده در رقابت ثابت باقی می‌ماند. با مقایسه این دو روش از جنبه تعداد رانندگان شکست خورده در رقابت بر سر فضای پارک کنار خیابانی می‌توان دریافت که عملکرد روش $\Gamma(D)$ بسیار قابل‌قبول‌تر و بهینه‌تر از $\Gamma(N)$ است.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک الگوریتم برای کمک به یافتن بهترین فضای پارک در سامانه‌های پارکینگ‌یار ارائه و مورد ارزیابی قرار گرفت. برای رسیدن به این مقصود از مفهومی به نام نظریه بازی‌ها کمک گرفته شد. مدل پیشنهادی بواسطه ایجاد تغییر در تابع هزینه‌ها و استفاده از تابع پتانسیل عملکرد بسیار مطلوبی از خود نشان داده است. این مدل با کارهای مشابهی که سابقا انجام گرفته بودند از جنبه‌های تعداد کلی رانندگان، تعداد فضای پارک کنار خیابانی، اختلاف قیمت‌ها بین پارکینگ خصوصی و پارکینگ کنار خیابانی و تعداد رانندگان شکست خورده در رقابت بر سر فضای پارک کنار خیابانی و پارکینگ خصوصی مورد مقایسه قرار گرفتند. سپس تاثیرات هر کدام از این فاکتورها بر روی کارایی سیستم، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. در الگوریتم ارائه شده تعداد رانندگانی که باید بر سر فضای

پارک کنار خیابانی با یکدیگر رقابت کنند به صورت هوشمندانه‌ای تعیین می‌شود. این امر از روانه شدن بی‌رویه رانندگان به سمت فضاهای پارک کنار خیابانی جلوگیری بعمل آورده و در نتیجه تعداد رانندگانی که در رقابت با شکست مواجه می‌شوند قابل قبول خواهد بود. این بهینگی باعث پایین آمدن مقدار PoA و در نیتجه افزایش کارایی کلی سامانه‌ی پارکینگ‌یار می‌شود. این امر به صورت قابل‌توجهی موجب کاهش مصرف سوخت، روان‌تر شدن بار ترافیکی شهرها، اجتناب از اتلاف زمان رانندگان، افزایش رضایت رانندگان و در نتیجه افزایش رفاه اجتماعی خواهد شد. سه فاکتور تاثیرگذار بر روی کارایی یا عدم کارایی الگوریتم طراحی شده، میزان تقاضای پارکینگ، میزان عرضه پارکینگ و رویه‌های قیمت‌گذاری هستند. هنگامیکه تمامی منابع پارکینگ توسط تنها یک اپراتور (مثلا شهرداری) مدیریت شوند، تمامی عوامل بالا به غیر از عامل میزان تقاضا، می‌توانند در کنترل واحد مدیریت باشند. بنابراین، در دراز مدت اپراتور می‌تواند با یک طراحی استراتژیک (از جمله بازسازی پارکینگ‌های کنار خیابانی کنونی، ساخت یا توسعه‌ی پارکینگ‌های خصوصی) با عامل میزان تقاضا مقابله کند. در کوتاه مدت هم می‌توان با دستکاری قیمت پارکینگ‌های کنار خیابانی و خصوصی، از عهده‌ی مقابله با فاکتور میزان تقاضا برآمد.

۶- مراجع

1- J. Bélissent, 2010, Getting clever about smart cities: New opportunities require new business models.
2- Expert Systems with Applications, 2012, Prediction of parking space availability in real time, vol. 39.
3- Parkingcarma, Available from: http://www.parkingcarma.com
4- ParkShark, Available from: http://www.parkshark.mobi/www/.
5- Self-Organizing Systems, 2014, On the efficiency of information-assisted search for parking space: A game-theoretic approach, Springer.
6- Ad Hoc Networks, 2014, Finding available parking spaces made easy, vol. 12.
7- EzPARK, Availabe from: http://wow.eecs.berkely.edu/ergen/
8- S. Mathur, T. Jin, N. Kasturirangan, J. Chandrasekaran, W. Xue, M. Gruteser, 2010, Parknet: drive-by sensing of road-side parking statistics. Proceedings of the 8th international conference on Mobile systems, applications, and services, pp. 123-136.
9- P. Li, D. Li, and X. Zhang, 2014, CGPS: A Collaborative Game in Parking-Lot Search. Proceedings of International Conference on Soft Computing Techniques and Engineering Application, pp. 105-113.
10- D. Ayala, O. Wolfson, B. Xu, B. Dasgupta, and J. Lin, 2011, Parking slot assignment games. Proceedings of the 19th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, pp. 299-308.
11- I. Ashlagi, D. Monderer, and M. Tennenholtz, 2006, Resource selection games with unknown number of players. Proceedings of the fifth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems, pp. 819-825.
12- Networks and Spatial Economics, 2013, Modeling parking behavior under uncertainty: a static game theoretic versus a sequential neo-additive capacity modeling approach, vol. 13.
13- S.-F. Cheng, D. M. Reeves, Y. Vorobeychik, and M. P. Wellman, 2004, Notes on equilibria in symmetric games. Proceedings of Workshop on Game Theory and Decision Theory, pp. 71-78.
14- Games and economic behavior, 1996, Potential games, vol. 14.

Improving Parking Guidance Systems Efficiency Using Game Theory

Ayub Mamandi[1], Saleh Yousefi[2], Reza Ebrahimi Atani[3]
1-MSc graduate in IT Eng., University of Guilan
2-PhD of Computer Eng., Orumiyeh University
3-PhD of Electronic Eng., University of Guilan

Abstract

One of the biggest problems of peoples tendency to urbanity is the increase of vehicles and limited parking spaces. In this paper, an algorithm is designed for searching parking space using game theory, in order to deal with the side effects caused by searching for parking spaces and analyzing the efficiency of parking guidance systems. The designed game is belongs to resource selection and congestion games. In this game, drivers are rational and selfish agents that looking for parking space in the middle of a big city and trying to minimize the costs they pay for acquired parking space. The performance metric of designed game is the ratio of the social cost causing by drivers decision in the worst case over social cost in optimal case. The designed algorithm leads the drivers to the most suitable parking space, since potential function has been used. The simulation results shows that the designed game has better efficiency in comparison with similar games. This improved efficiency leads to the reduction of fuel consumption, lighter traffic in cities, avoiding drivers' time wasting and therefor increased social welfare, significantly.