شبیه‌سازی سیگنالینگ سویچ‌های دیجیتال به‌وسیله شبکه پتری رنگی

محمد حقی‌نیا/دانشگاه صنعتی کرمانشاه/mohammadhaghiniya@gmail.com
صبحی بنی‌اردلانی/ گروه برق/ دانشکده انرژی دانشگاه صنعتی کرمانشاه/ s.baniardalani@kut.ac.ir
عبدالحمید زاهدی/ گروه برق/ دانشکده انرژی دانشگاه صنعتی کرمانشاه/h.zahedi.62@gmail.com

چکیده

سویچ‌های دیجیتال از اجزاء اصلی در شبکه انتقال اطلاعات هستند و مدلسازی آنها در کاربردهایی مانند ترافیک سنجی، تشخیص عیب و آموزش بهره‌برداران استفاده زیادی دارد. در این مقاله با استفاده از مفهوم شبکه‌های پتری رنگی، سیگنالینگ یک سویچ شبیه‌سازی می‌شود. شبکه‌های پتری رنگی قابلیت پشتیبانی از انواع داده‌های مختلف را دارا هستند و با توجه به قابلیت توصیف شهودی فرآیندها و کارآیی در مدلسازی سیستم‌های رویداد گسسته، برای مدلسازی سویچ دیجیتال مخابراتی انتخاب شده‌اند. این مقاله به چگونگی مدلسازی سیگنالینگ سویچ که سرویس‌های مختلف ارتباطی را به‌صورت یکپارچه به مشترکان تلفن دیجیتال و آنالوگ ارایه می‌کند، می‌پردازد. از مشخصات پروتکل مورد بحث در این مقاله، می‌توان به پایداری و جامعیت آن اشاره کرد. این پروتکل تمام نیازهای ارتباط بین مراکز دیجیتالی را بر آورده می‌کند و همان نقشی را در سیستم مخابراتی دارد که پروتکل‌های ارتباطی در شبکه‌های کامپیوتری دارند. از آنجا که هدف این مقاله ارایه روشی برای شبیه‌سازی است، از این‌رو حالت سیگنالینگ را به حالت یک تماس موفق بین دو مشترک محدود می‌کنیم. پس از مشخص کردن شبکه پتری رنگی برای سویچ دیجیتالی، گراف دسترس‌پذیری آن نیز استخراج می‌شود که نقش اساسی در کاربردهایی مانند تشخیص عیب دارد.

کلمات کلیدی: شبکه پتری رنگی، شبیه‌سازی سویچ دیجیتالی، سیگنالینگ سویچ مخابراتی، سویچ دیجیتالی NEAX

Modeling of digital switching signaling by a colored petri net

Mohammad Haghinia /Kermanshah University of Technology/ mohammadhaghiniya@gmail.com
Sobhi Bani Ardalani / Faculty of Energy/ Kermanshah University of Technology/ s.baniardalani@kut.ac.ir
Abdolhamid Zahedi / Faculty of Energy/ Kermanshah University of Technology/ zahedi@kut.ac.ir

Abstract:

Digital switches are one of the main components of the data transmission networks, and their modeling in applications such as traffic measurement, fault diagnosis, and operator training, have significant importance. In this paper, signaling of a digital switch is modeled and simulated using Colored Petri Nets. Colored Petri Net can support various data types and due to its intuitive graphical representation is known as an efficient tool for modeling of Discrete Event Systems (DES). In this paper a digital switch is considered as a DES and its signaling is modeled using a CPN. Signaling is a sustainable and comprehensive protocol that can integrate various communication services into digital and analog telephone subscribers. The protocol cited in this paper, meets all the requirements for communication between digital databases and its role in the communications system is the same as one in computer networks. In this

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-06-10]

paper the signaling state is limited to a successful call between two subscribers. In addition, the reachability graph is extracted for the CPN which contains all possible events in the DES and can be used for supervisory control tasks such as fault diagnosis process.

Keywords: Color Petri Net, Discrete Event Systems, Telecommunication Switching Signaling, Modeling.

۱- مقدمه

در سیستم‌های مخابراتی انواع مختلفی از پیام‌ها وجود دارند. این پیام‌ها شامل اطلاعات متنوعی نظیر درخواست مکالمه، خاتمه مکالمه، شماره مشترک خواسته شده، نوع سرویس درخواستی، نوع مسیر و نحوه ارتباط آن، پیام‌های نظارتی و کنترلی، اطلاعات کاربر به کاربر، اعلام وضعیت مشترک، پیام زنگ و غیره هستند. بعضی از این پیام‌ها بین مشترک و مرکز و بعضی از آنها بین مراکز مبادله می‌گردند.

سیستمی که انتقال این پیام‌ها را مقدور می‌کند و ضمن پاسخگویی به تمام نیازهای شبکه‌های ارتباطی، بستری مناسب جهت انتقال اطلاعات اضافی و ارایه سرویس‌های پیشرفته مخابراتی نیز فراهم می‌آورد، سیستم سیگنالینگ نامیده می‌شود[۱]. پس از ورود فناوری دیجیتال به عرصه‌های مخابراتی، نیاز به یک سیستم سیگنالینگ قدرتمند بیش از پیش حس گردید[۲].

نظر به اهمیت این سیگنالینگ در ارتباطات دیجیتال، تجزیه و تحلیل بسته‌های ارسالی و همچنین تاخیر و تشخیص عیوب احتمالی در آن نیز از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. ازاین‌رو، شبیه‌سازی آن نیز گامی موثر در دسترسی به این اهداف می‌باشد. با توجه به پیچیدگی سیستم و ماهیت آن‌که مبتنی بر وقوع رویدادها است، استفاده از مدل‌های رویداد گسسته مانند شبکه‌های پتری رنگی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد که در این مقاله مدل‌سازی این سیگنالینگ توسط سیستم‌های رویداد گسسته انجام می‌شود [۳, ۴] . در نتیجه، ضمن شبیه‌سازی فرآیند سیگنالینگ به‌صورت شهودی که از مزایای شبکه‌های پتری است، امکان تحلیل فرآیند نیز فراهم می‌شود. در این مقاله گراف دسترسی‌پذیری شبکه نیز استخراج می‌شود که ابزار مناسبی جهت پیش‌بینی رفتار فرآیند و انجام تحلیل‌هایی مانند تشخیص عیوب رخ داده در سیگنالینگ است.

ساختار این مقاله بدین صورت است: در بخش ۲ به بررسی و معرفی سیگنالینگ جهت ایجاد یک ارتباط موفق مخابراتی پرداخته می‌شود و بخش۳ به مرور شبکه پتری و پتری رنگی اختصاص دارد. دربخش ۴، مدل‌سازی سیگنالینگISUP برای تماس موفق به وسیله شبکه پتری رنگی تشریح شده است و در بخش ۵ به استخراج گراف دسترسی درشبکه پتری رنگی پرداخته و در پایان نتیجه‌گیری بیان می‌شود.

۲- سیگنالینگ

سیگنالینگ بین مراکز به دو صورت سیگنالینگ کانال مرتبط[۱] و سیگنالینگ کانال مشترک[۲] انجام می‌شود[۶,۵]. سیگنالینگ کانال مرتبط روشی از سیگنالینگ است که در آن تمامی سیگنال‌ها روی کانالی که ترافیک تلفنی را حمل می‌کند و یا در کانالی مرتبط یا وابسته به آن انتقال می‌یابند. در واقع ترافیک صحبت و سیگنالینگ هر دو از یک مدار استفاده می‌کنند. سرعت و ظرفیت این نوع سیگنالینگ بسیار پایین و محدود است. سیستم‌های سیگنالینگ R_1[۳]، R_2، No.4 و No.5 از جمله سیستم‌هایی هستند که از این روش سیگنالینگ بهره می‌برند[۷].

در حال حاضر، طراحان سیستم‌های سیگنالینگ سیستم سیگنالینگ کانال مشترک[۴] را پیشنهاد کرده‌اند. این سیستم سیگنالینگی بر پایه بسته[۵] های اطلاعاتی و یک کانال از یک لینک انتقال دیجیتال با سرعت ارسال و دریافت ۲۰۴۸ کیلو بیت بر ثانیه[۶] قابل ارایه می‌باشد. [۸] سیگنالینگ کانال مشترک روشی از سیگنالینگ است که در آن تمامی سیگنال‌ها روی کانالی جدا از کانال حمل ترافیک تلفنی مبادله می‌شوند و کانال سیگنالینگ به مدارهای مکالمه خاصی تعلق ندارد. این سیستم به منظور رفع محدودیت‌های سیستم سیگنالینگ کانال مرتبط و ایجاد سازگاری با سیستم‌های دیجیتال در شبکه‌های مخابراتی پدید آمده است.

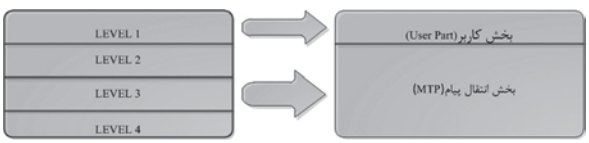
در همین راستا کمیته استانداردسازی بین‌المللی مخابرات[۷]در دهه شصت میلادی سیستم سیگنالینگ تمام دیجیتالی را به نام سیگنالینگ شماره شش[۸]معرفی کرد. این سیستم سیگنالینگ تحول بزرگی را در صنعت تلفن به‌وجود آورد. سپس سیستم سیگنالینگ فوق توسعه یافت و سیگنالینگ شماره هفت به وجود آمد که در حال حاضر به‌عنوان یک سیستم استاندارد و پرقدرت در کل دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد. مسیر انتقال سیگنالینگ به‌طور کامل جدا از مسیر حمل ترافیک تلفنی و دیتا است و این، همان مفهوم سیستم سیگنالینگ کانال مشترک است. در این نوع سیستم‌ها مسیر حمل سیگنالینگ و مسیر حمل ترافیک تلفنی و دیتا از یکدیگر جداست[۹].

سیگنالینگ شماره هفت در دهه هشتاد میلادی در شبکه‌های مخابراتی به‌کار گرفته شد. سیگنالینگ شماره هفت یک پروتکل ارتباطی ۴ لایه مشابه با مدل مرجع هفت لایه شبکه[۹] می‌باشد که در تجهیزات مخابراتی از آن استفاده می‌شود[۱۱,۱۰]. این سیستم قابلیت‌های بیشتری را نسبت به سیگنالینگ شماره شش ارایه می‌کند و بر خلاف آن از واحدهای سیگنال با طول متغیر بهره می‌برد. سیگنالینگ شماره هفت دارای انعطاف و قدرت بالایی است و واحدهایی را نیز در رابطه با مدیریت شبکه سیگنالینگ ارایه کرده است. سرعت انتقال اطلاعات در این سیستم به مراتب بالاتر از سیگنالینگ شماره شش است، به‌طوری‌که سرعت پایه انتقال اطلاعات در این سیستم ۶۴ کیلوبایت برثانیه برای محیط دیجیتال و ۴,۸ کیلوبایت برثانیه برای محیط آنالوگ است. همچنین لینک داده سیگنالینگ با سرعت ۲.۰۴۸ مگابیت بر ثانیه نیز در این سیستم سیگنالینگ استاندارد شده است. در حالت کلی می‌توان گفت که سیگنالینگ شماره هفت نقطه اوج سیستم‌های مخابراتی مدرن محسوب می‌شود و پایه و اساس بسیاری از سرویس‌های جدید مخابراتی به‌حساب می‌آید. بیشتر شبکه‌ها و فناوری‌های جدید از سیگنالینگ شماره هفت استفاده می‌کنند. یک شبکه تلفن موبایل به‌طور کانل به سیگنالینگ شماره هفت وابسته است. هیچ سرویسی در شبکه هوشمند[۱۰] بدون سیگنالینگ شماره هفت قابل پیاده‌سازی نیست. یک مشترک شبکه عمومی تلفن[۱۱] و شبکه‌های مجتمع خدمات دیجیتال[۱۲] بدون سیگنالینگ شماره هفت قادر به استفاده از سرویس‌های مختلف نخواهد بود. در حالت کلی می‌توان گفت که امروزه شبکه‌های مخابراتی به پیاده‌سازی سیگنالینگ شماره هفت در داخل خود نیاز دارند[۱۳,۱۲]. از جمله

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-06-10]

کاربردهای مهم سیگنالینگ، استعلام از دیتابیس، مدیریت شبکه سیگنالینگ و درخواست اطلاعات موقعیت مشترک تلفن موبایل است. همچنین شبکه‌های مخابراتی آینده و سرویس‌های شبکه هوشمند IN وISDN، بدون راه اندازی سیگنالینگ کانال مشترک و جداسازی کانال های مکالمه و سیگنالینگ از یکدیگر تحقق نخواهند یافت. درنهایت سیستم سیگنالینگ شماره هفت امکان استفاده دوطرفه از مدارهای مکالمه را به وجود می آورد[۱۴,۱۵].

سطوح سیگنالینگ شماره هفت از چهار سطح تشکیل شده است. سطوح ۱و۲و۳ را بخش انتقال پیام[۱۳]و سطح ۴ که در برگیرنده نرم‌افزار کاربردی بین دو پردازنده در دو مرکز مقابل هم برای تبادل پیام‌های کنترلی سیگنالینگ می‌باشد، بخش کاربر[۱۴] نامیده اند. بخش انتقال پیام یک انتقال مطمئن اما اتصال ناگرا[۱۵]برای هدایت پیام‌ها در شبکه سیگنالینگ را فراهم می‌آورد. همه مراکز بجزء مرکز انتقال سیگنال[۱۶] باید قادر به انجام وظایف ۴ سطح گفته شده باشند و مراکز انتقال سیگنال ، انجام وظایف سطوح ۱و۲و۳ را بعهده دارند. در شکل (۱) سطوح مختلف سیگنالینگ شماره هفت نشان داده شده است[۱۶].



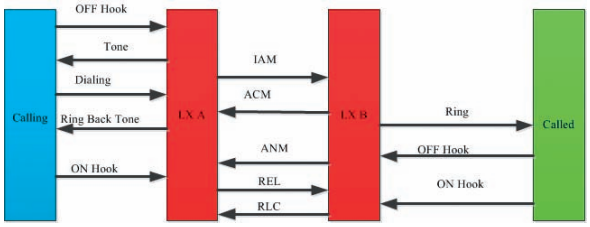
شکل ۱: سطوح سیگنالینگ شماره هفت

وظایف لایه‌های انتقال پیام برای لایه نخست، متناظر با لایه فیزیکی مدل مرجع شبکه است و دارنده مشخصات فیزیکی و الکتریکی خط انتقال می‌باشد، وظیفه لایه دوم این سطح، متناظر با لایه دوم مرجع شبکه است و تبدیل لینک فیزیکی به لینک مطمئن انتقال اطلاعات را انجام می‌دهد، لایه سوم وظیفه هدایت پیام بین نقاط سیگنالینگ شبکه و مدیریت شبکه سیگنالینگ و مدیریت ترافیک را به عهده دارد. لایه چهارم، نرم‌افزارکاربردی سطح ۴ یا بخش کاربری است که در دو مرکز باید از یک نوع باشند تا دو مرکز قادر به تبادل پیام‌های سیگنالینگ شوند[۱۷].

سیگنالینگ شماره هفت دو نوع سرویس، موسوم به پایه‌ای و تکمیلی را ارایه می‌دهد. سرویس‌های پایه شامل سرویس‌هایی می‌شوند که در عمل برقراری و قطع مکالمه به‌کار می‌روند. سرویس‌های تکمیلی شامل سرویس‌هایی می‌شوند که در عبور پیام‌های مورد نیاز و یا اصلاح مکالمه مورد استفاده قرار می‌گیرند. توانایی عملیات بخش سرویس‌دهی شبکه هوشمندکاربر را می‌توان به سه بخش تقسیم کرد. بخش نخست کنترل سیگنالینگ است که به‌طور مستقیم با سرویس‌های قسمت انتقال پیام در تماس می‌باشد. بخش دوم قسمت کنترل نظارتی مداری و بخش سوم قسمت کنترل پردازش مکالمه می‌باشد[۱۸].

شکل (۲) یک مکالمه موفق در شبکه هوشمند خدمات دیجیتالی را نشان می‌دهد. روند سیگنالینگی این مکالمه را می‌توان به دو فاز برقراری و قطع مکالمه تقسیم‌بندی نمود. فاز نخست با ارسال پیام Setup از پیام های Q.931 ، توسط مشترک دیجیتالی به قصد برقراری مکالمه، آغاز می‌شود.

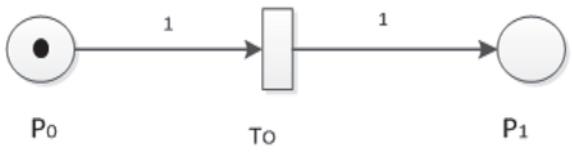
این پیام با پیام آدرس اولیه[۱۷] در شبکه خدمات مجتمع دیجیتالی، به طرف مرکز دیجیتالی مقصد ارسال می‌شود و در مقصد به پیام Setup تبدیل شده و به اشتراک ارسال می‌شود. برای قطع مکالمه، هر یک از مشترکان می‌توانند درخواست قطع مکالمه را داشته باشند. این فاز با پیام های پایان[۱۸] و آزادشدن کامل[۱۹] که ترجمه شده پیام‌های Q.931 برای قطع مکالمه‌اند، صورت می‌گیرد که روند آن در شکل(۲) نشان داده شده است[۱۷,۱۹-۲۱].



شکل ۲: مراحل سیگنالینگی یک تماس تلفنی موفق ISUP

۲- مروری بر شبکه پتری و پتری رنگی

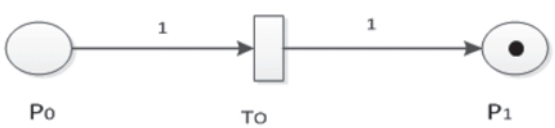
به‌طور کلی یک شبکه پتری، یک شبکه گرافیکی است که از ۳ جزء اصلی تشکیل شده است. این ۳ جزء عبارتند از: مکان‌ها، گذرها و کمان‌ها. عموماً مکان به شکل دایره و گذرها به‌صورت میله یا چهارگوش نمایش داده می‌شود. درشکل (۳) یک شبکه پتری ساده نشان داده شده است.



شکل ۳: یک شبکه پتری ساده

یک گذر، زمانی امکان وقوع پیدا می‌کند که فعال شده باشد و درصورت وقوع از تعداد نشانه‌های هر مکان ورودی به میزان وزن کمان مربوطه کاسته شده و به تعداد نشانه‌های هر مکان خروجی به اندازه وزن کمان ارتباطی‌اش افزوده می‌گردد[۲۲]. همچنین، زمانی یک گذر زمانی فعال می‌شود که دست‌کم در هرمکان ورودی آن به اندازه وزن کمان ارتباط دهنده‌اش به آن گذر، نشانه وجود داشته باشد.

به‌عنوان نمونه در شکل (۳) گذر T0 یک گذر فعال بوده و امکان وقوع دارد زیرا یک نشانه در داخل مکان P0 موجود می‌باشد. درصورت وقوع گذرT0، یک نشانه از P0 کم می‌شود و به P1 یک نشانه اضافه می‌گردد که درشکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴: حالت منتجه از وقوع T0 درشکل۳

یک شبکه پتری اگرچه به عنوان یک مدل گرافیکی شناخته شده است اما بر مبنای قوانین ریاضی ماتریسی استوار است. برای یک شبکه پتری مانند s با nمکان و m گذر، معادله حالت زیر برقرار می باشد:

$$q_s[k+1] = q_s[k] + Bx[k] \quad (۱)$$

که در این رابطه، $q_s[k+1]$ بردار حالت درمرحله iام یا لحظه k+۱ ام با ابعاد می باشد و درایه i ام آن بیانگر تعداد نشانه های موجود در مکان iام درمرحله k ام است. $q_s[k]$ ، بردار حالت درمرحله قبل است و B با ابعادn*m ماتریس انتشار نامیده می‌شود که عبارتست از:

$$B = b_{ij}^{+} - b_{ij}^{-} \quad (۲)$$

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-06-10]

در رابطه(۲)، b_{ij}^{-} وزن کمانی است که از مکان Pj به گذرPi وارد می‌شود و b_{ij}^{+} وزن کمانی است که از مکانti به گذر Pj وارد می‌شود.

x[k] بردار کنترل مدل بوده و برای یک شبکه با m گذر یک ماتریس m*1 خواهد شد که درهرمرحله تنها درایه مربوط به آن مرحله یک بوده و سایر درایه‌ها صفر خواهد بود. به عبارت دیگر این بردار ترتیب وقوع گذرها درطی مراحل یک الی m را نشان می‌دهد[۲۳,۲۴].

تفاوت اصلی شبکه پتری رنگی با شبکه پتری ساده در نوع نشانه‌های آنها است. شبکه‌های پتری رنگی از نشانه‌های رنگی پشتیبانی می‌کنند. رنگ‌ها معادل انواع داده‌ها در زبان برنامه‌نویسی هستند و نشانه‌های رنگی نمایانگر مقادیر مجاز از هرنوع داده یا به عبارتی نمونه‌ای از یک نوع داده می‌باشند. برای آشنایی بیشتر با شبکه‌های پتری رنگی بهتر است به معرفی چند اصطلاح بپردازیم:

برچسب نوع: هرمکان دارای یک برچسب نوع است که نوع داده های ممکن در آن مکان را مشخص می کند.

نشانه‌گذاری[۲۰]: حالت یک شبکه پتری رنگی،که شامل تعداد و مکان نشانه‌ها در یک مقطع زمانی معین است، نشانه‌گذاری نامیده می‌شوند.

Multi-Set: یک مجموعه از نشانه‌هاست که برخلاف مجموعه‌های معمولی، چنانچه یک عضو تکراری وارد آن شود، تعداد آن عضو افزایش می‌یابد.

عبارت‌های کمان[۲۱]: تعداد دقیق نشانه‌ها و مقادیر داده‌ای آنها توسط عبارت‌های کمان مشخص می‌شود.

چسباندن[۲۲]: در هنگام وقوع یک گذار، مقادیر مجاز نشانه‌ها باید با توجه به نوع و تعداد مشخص شده روی کمان‌ها انتخاب شوند، این عمل چسباندن نام دارد.

محافظ[۲۳]: یک عبارت بولی است که به یک گذار منسوب می‌شود و امکان شلیک کردن آن را محدود به شرط می‌نماید.

تحلیل فضای حالت[۲۴] **شبکه‌های پتری رنگی:** اشکال‌زدایی و بررسی شبکه‌های پتری رنگی مشابه عمل آزمون[۲۵] در اعتبار سنجی است. بنابراین نمی‌تواند درستی یک مدل را اثبات کند. از این‌رو به‌طور معمول شبیه‌سازی را با ساخت یک یا چند فضای حالت تکمیل می‌کنند. ایده اصلی تحلیل فضای حالت ساختن یک گراف دسترسی است که به‌ازای هر وضعیت قابل دسترس یک گره و به ازای هر تغییر وضعیت ممکن یک کمان داشته باشد به فضای حالت،گراف رخدادها[۲۶] یا درخت/گراف دسترسی[۲۷] نیز گفته می‌شود[۲۵].

یکی دیگر از خصوصیات مهم شبکه پتری قابل اجرابودن آن است که از همین خاصیت می‌توان برای ارزیابی رفتار و کارایی یک سیستم بهره جست. امروزه نرم‌افزارهای قوی شبیه‌سازی وجود دارندکه براساس شبکه‌های پتری کار می‌کنند. ابزارهای شبیه‌سازی مثل PIPE[۲۶] یا CPN TOOLS [۲۷] قادرند با انواع پردازش، به بررسی مشکلات احتمالی سیستم ها وتولید فضای حالت پرداخته و عملکردکلی سیستم را شبیه‌سازی نمایند[۲۸,۲۹,۳۰].

۳- مدلسازی سیگنالینگ ISUP برای تماس موفق توسط شبکه پتری رنگی

برای مدل کردن سیگنالینگ متناظر با حالت برقراری تماس موفق به کمک شبکه پتری رنگی، ابتدا با آنالیز سیگنالینگ ISUP رویدادها و حالات سیستم را مشخص می‌کنیم. حالت‌ها را متناظر با مکان‌ها و رویدادها را متناظر با گذرها در نظر می‌گیریم و وزن تمامی کمان‌ها در این مدل برابر یک می‌باشد. توصیف کامل مراحل مدل شکل(۲) در بخش۱به همراه گذار مربوطه بر اساس ترتیب وقوع در مقاله [۳۱] آورده شده است. در شکل (۵) شبکه پتری رنگی متناظر با سیگنالینگ تماس موفق با استفاده از نرم افزار شبیه سازی شبکه پتری رنگی CPN TOOLS رسم شده است. در شکل (۵) مکان‌های ۱الی ۶ (سبز رنگ)، متناظر با حالت‌های مشترک مبدأ، مکان‌های ۷ الی ۱۴ (آبی رنگ)، حالت‌های مرکز متصل به مشترک مبدأ، مکان‌های ۱۵ الی ۲۲(زردرنگ)، متناظر باحالت‌های مرکز مقصد و مکان‌های ۲۳ الی ۲۵ متناظر با حالت‌های مشترک مقصد می‌باشد.

شبکه شکل (۵) چگونگی اجرای سیگنالینگ یک تماس موفق را بر اساس پروتکل شکل (۲) نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال، در ابتدای تماس، مشترک مبدأ و مقصد و مراکز آنها در حالت Idle هستند، از این‌رو مکان‌های ۱، ۷، ۱۵ و ۲۳ دارای یک نشانه هستند. در این حالت گذر ۱که متناظر با برداشتن گوشی توسط مشترک مبدأ (Off-Hook) است، می‌تواند شلیک شود. با برداشتن گوشی توسط مشترک مبدأ، این گذر شلیک شده و مکان‌های ۲و ۸ دارای نشانه می‌شوند که به ترتیب نشان‌دهنده منتظر بودن مشترک مبدأ برای دریافت بوق آزاد و ارسال سیگنال بوق آزاد توسط مرکز مبدأ می‌باشند. به این ترتیب با دنبال کردن دنباله پیشامدها در شبکه شکل (۵) می‌توان مشاهده نمود که این شبکه به خوبی مراحل انجام سیگنالینگ شکل(۲) را شبیه‌سازی می‌کند.

۴- گراف دسترسی شبکه پتری رنگی

برای تحلیل سیستم به کمک شبکه پتری می‌توان از گراف دسترسی استفاده کرد. هر حالت از این گراف متناظر با وضعیت کلی شبکه است که پس از شلیک شدن یک گذر، شبکه در آن وضعیت قرار می‌گیرد. وضعیت شبکه توسط بردار حالت که نشان‌دهنده تعداد نشانه‌ها در هر مکان است، مشخص می‌شود. در ضمن گراف دسترسی تمامی گذرهایی که قابل آتش شدن هستند را مشخص می‌کند. با شروع از حالت اولیه شبکه پتری، تمامی حالات ممکن بررسی شده و بدین ترتیب گراف دسترسی ترسیم می‌شود. این گراف در شکل(۶) برای شبکه پتری شکل (۵) ترسیم شده است. به‌عنوان مثال، گره S0 نشان‌دهنده حالت اولیه شبکه است که با شلیک، گذر T1، حالت شبکه به S1 منتقل می‌شود. نشانه‌های متناظر با هر حالت به‌صورت کلی به صورت زیر مشخص می‌شود:

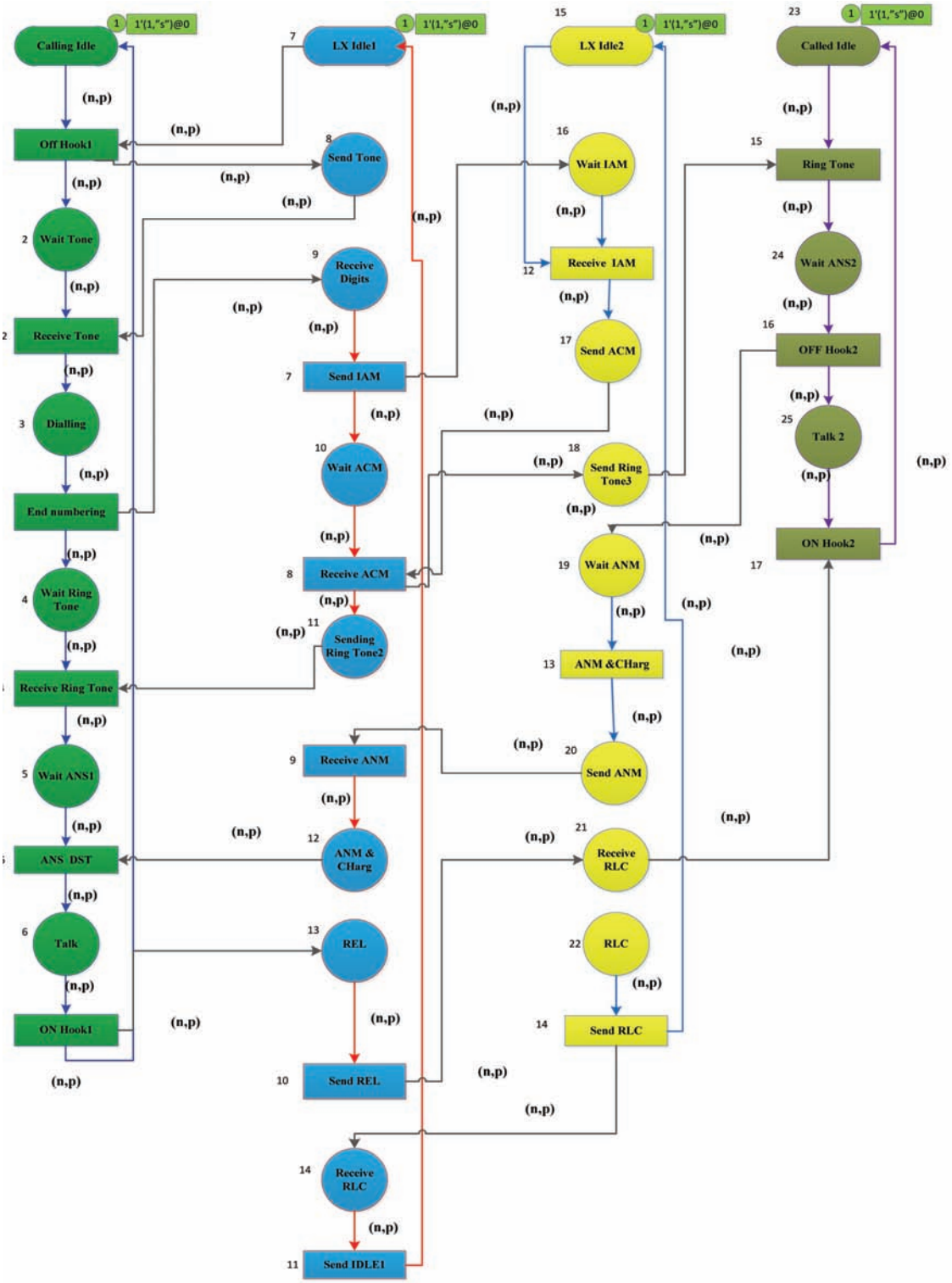
Marking = {P1, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P2, P20, P21, P22, P23, P24, P25, P26, P27, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9}

در سیستم‌های واقعی مثل همین سیستم چون تعداد مکان‌ها وگذرها زیاد است، باید از نرم افزارهای شبیه‌ساز شبکه پتری رنگی مانند نرم افزار CPN TOOLS و PIPE استفاده کرد. گراف دسترسی مهم‌ترین ابزار در تحلیل شبکه پتری به‌خصوص برای مشخص کردن حالات مسدود یا تشخیص عیب است. در[۳۱] چگونگی استفاده از شبکه پتری برای تشخیص عیب تشریح شده است. یکی از روش‌های تشخیص عیب به کمک شبکه پتری، ترسیم گراف دسترسی کامل است که در برگیرنده حالات معیوب نیز می‌باشد. سپس با مشاهده بردار نشانه‌های شبکه (بردار حالت شبکه) می‌توان تشخیص داد که این بردار با بروز کدام عیب در سیستم سازگاری دارد و به این ترتیب عیوب متناظر با این حالت شبکه را مشخص نمود.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله مدل‌سازی و شبیه‌سازی یک سویچ دیجیتال به کمک شبکه پتری بررسی شد. تمرکز اصلی مقاله بر سیگنالینگ این سویچ

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-06-10]



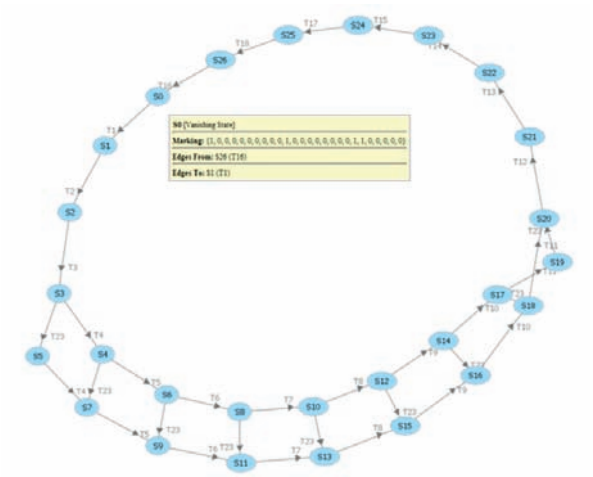
شکل ۵: مدل شبکه پتری رنگی سیگنالینگ تماس تلفنی حالت موفق

که مبتنی بر سیگنالینگ ISUP است، می‌باشد. شبکه پتری رنگی حاصل شده ، به خوبی تمامی حالات ممکن در یک تماس موفق را به صورتی شهودی وقابل درک نشان می دهد که این از خصوصیات بارز شبکه های پتری رنگی است. ازاین مدل جهت آموزش سیگنالینگ ISUP و مشخص کردن نحوه ارتباط مشترک با یک مرکز تلفن دیجیتال می‌توان استفاده کرد. همچنین این مدل می‌تواند جهت عیب‌یابی در قسمت‌های مختلف مرکز و کنترل ترافیک مرکز و رفع خرابی پس از توسعه، به خوبی مورد استفاده قرار گیرد.

در حال حاضر برای مانیتورینگ سیگنالینگ در مراکز، از دستگاهی به نام PT#7 استفاده می‌شود که فقط آمار بسته‌های ارسالی و دریافتی از لینک مربوطه را نمایش می‌دهد و تحلیل بسته‌ها و تشخیص عیب بسته‌های سیگنالینگی به‌وسیله اپراتور و به‌صورت دستی انجام

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-06-10]

می‌شود که این امر، در برگیرنده صرف وقت زیاد و احتمال بروز خطا در آن می‌باشد. با استفاده از روش ارایه شده در این مقاله، مانیتورینگ بســته‌ها و عیب‌های هر قسمت در یک ارتباط تلفنی می‌تواند سریع‌تر و با دقت بالاتری توسط شبکه پتری انجام شود.
از جملــه مــوارد قابل گســترش در این طرح، اضافه نمودن قســمت ترافیک‌ســنجی و تــوازن ترافیکی روی خطوط تلفنــی، به مدل ارایه شده می‌باشد.



شکل ۶: درخت دسترسی تماس تلفنی موفق با نرم‌افزار EPIP

پی‌نوشت‌ها

1 Channel Associated Signaling(CAS)
2Common Channel Signaling(CCS)
3Register Signaling (R1)
4 Common Channel Signaling Number 7(CCS7)
5 Packet
6 European format for digital transmission(E1)
7 The International Telegraph - Telecommunication (ITU-T)
8 Signaling System Number 6(SS6)
9 The Open System Interconnection(OSI)
10 Intelligent Network (IN)
11Public Switched Telephone Network(PSTN)
12 Integrated Services Digital network (ISDN)
13 Message Transfer Part(MTP)
14 User Part
15 Connection-less
16 Signal Transfer Point(STP)
17 Initial Address message(IAM)
18 Release
19 Release Complete
20 Marking
21 Arc Expression
22 Binding
23 Guard
24 State Space Analysis
25 Testing
26 Reachability Graph/Tree
27 Occurrence Graph

مراجع

[1] Gold, Helmut,et al.,Telefone 1863 bis Heute, museummsstiftung fur post und kommunikation,Edition Braus, Frankfurt,Germany, 2001.
[2] W. C. Roehr, Jr., “Signaling System No. 7”, in Tutorial: Integrated Services Digital Network (ISDN), W. Stallings, ed., IEEE Computer Society, Washington, DC, 1985.
[3] Cassandras, C.G., and S. Lafortune, Discrete Event Systems: The State of the Art and New Directions, in Applied and Computational Control, Signals, and Circuits, Vol. I, B. Datta, Ed., Birkh¨auser, Boston, 1999.
[4] Proc. of Workshops on Practical Use of Colored Petri Nets and the CPN Tools. www.cs.au.dk/CPnets/, 1998.
[5] A.R. Modaressi, R.A. Skoog, “Signaling System No.7: A Tutorial,” IEEE Comm. Msg., July 1990.
[6] Amendment 6 to Recommendation ITU-T Q.763 (1999) was approved on 29 October 2009 by ITU-T Study Group 11 (2009-2012) under Recommendation ITU-T A.8 procedures.
[7] John G. Van Bosse and Fabrizio U. Devetak (2007). Signaling in telecommunication networks (2nd ed.). John Wiley and Sons. p. 111. ISBN 978-0-471-66288-4.
[8] Bailey, W. J. The Stronger Automatic Exchange at Epsom. Post Office Electrical Engineers’ Journal, July 1912.
[9] International Telecommunication Union, “Network grade of service parameters and target values for circuit-switched services in the evolving isdn,” RecommendationE.721, Telecommunication Standardization Sector of ITU, Geneva, Switzerland, May 1999.
[10] Webster’s Third International Dictionary, G&C Merriam Co., spring field, MA, 1981.
[11] IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronic Terms, 6th ed., IEEE Std. 100-1996, IEEE, New York, 1996.
[12] CCITT Recommendation Network GOS parameters and target values for circuit-switched services in the evolving ISDN, Rec. E.721.
[13] General Signaling Requirements on Interworking between the ISDN or PSTN and the PLMN, Rec. Q.1051, CCITI’ Blue Book VI.12, ITU, Geneva, 1989.
[14] CCITT Recommendation Network GOS parameters and target values for circuit-switched services in the evolving ISDN, Rec. E.721.A. Author 1 and B. Author 2, “Title of the journal paper” IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. 55, No. 1, pp. 12-23, 2007.
[15] ITU-T Recommendation Q.732.2-5 (1999), Stage 3 description for call offering supplementary services using Signaling System No. 7: Call diversion services.
[16] A.R. Modaressi, R.A. Skoog, “Signaling System No.7: A Tutorial,” IEEE Comm. Msg., July 1990.
[17] TTC, “Message Transfer Part Signaling Network Functions,” TTC Standard JT-Q704, Telecommunication Technology Committee (TTC), version 4 (May 30, 2002).
[18] CCITT Recommendation Network performance objectives for connection processing delays in an ISDN, Rec. I.352.
[19] ITU-T Recommendation Q.764 (1999), Signaling System No. 7 − ISDN User Part signaling procedures.
[20] American National Standard for Telecommunications-Integrated Services Digital Network (ISDN) User Part, ANSI T1.113-1992, American National Standards Institute, N.Y.
[21] European Digital Cellular Telecommunication System (Phase 2), Mobile Application Part (MAP), GSM 09.02, European Telecommunications Standards Institute, Sophia Antipolis, France, 1994.
[22] Zurawski, R. and Zhou, M.: ‘Petri Nets and Industrial Applications: A Tutorial’, IEEE.Transactions on Industrial Electronics, Vol. 41, No.6, Dec. 1994, pp. 567-583.
[23] Murata, T: ‘Petri Nets: Properties, Analysis and Applications’, Proc. of the IEEE, Vol. 77, No. 4, April 1989, pp. 541-580.
[24] LouchkaPopova-Zeugmann, “Time and Petri Nets”, Springer, Chapter 2, 2013.
[25] K. Jensen and L.M. Kristensen .ColouredPetri Nets: Modeling ND Validation. Of Concurrent Systems. Springer, 2009. [Book web: www.cs.au.dk/CPnets/cpnbook/].
[26] Akharware, N.PIPE2: Platform Independent Petri Net Editor Http://pipe2.sourceforge.net/documents/PIPE2-Report-20050814.pdf, 2005.
[27] CPN Tools homepage. www.cs.au.dk/CPNTools.
[28] Rozé, Laurence, and Marie-OdileCordier. “Diagnosing discrete-event systems: extending the “diagnoser approach” to deal with telecommunication networks.” Discrete Event Dynamic Systems 12.1 (2002): 43-81.
[29] Schullerus, G., Supavatanakul, P., Krebs, V., Lunze, J. (2003). Relations of timed event graphs and timed automata in fault diagnosis. In Safeprocess 2003 (pp. 819–824).A. Author 1 and B. Author 2, “Title of the journal paper” IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. 55, No. 1, pp. 12-23, 2007.
[30] Pencolé, Yannick, and Marie-OdileCordier. “A formal framework for the decentralised -diagnosis of large scale discrete event systems and its application to telecommunication networks.” Artificial Intelligence 164.1-2 (2005): 121-170.A. Author 1 and B. Author 2, “Title of the journal paper” IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. 55, No. 1, pp. 12-23, 2007.
[۳۱] محمــد حقی‌نیا،صبحــی بنــی اردلانی،عبدالحمیدزاهدی. ۱۳۹۷. «تشــخیص عیب سیگنالینگ سوئیچ دیجیتالی NEAX به وسیله شبکه پتری» بیست و ششمین کنفرانس مهندسی برق ایران . دانشگاه صنعتی سجاد. اردیبهشت۱۳۹۷.

***

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-06-10]