

تجزیه و تحلیل عملیات همزمانی فریم در سیستمهای انتقال دیجیتال

دکتر ناصر رضائی

گروه مهندسی برق و کامپیوتر - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

مهندس مجید صدری

گروه مهندسی برق و کامپیوتر - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

چکیده

در سیستم های انتقال دیجیتال، برای تفکیک و بازیابی سیگنالهای دریافتی در گیرنده، از عملیات همزمانی فریم^۱ استفاده می شود. عملکرد مطمئن و پاسخ سریع از پارامترهای اساسی فرآیند همزمانی می باشد. در این مقاله یک تحلیل جامع از عملیات همزمانی فریم برای سیستم های ادغام کننده^۲ دیجیتال (با استاندارد اروپائی که در ایران نیز استفاده میشود) ارائه شده است. با استفاده از چهار مشخصه زمانی و اساسی تعریف شده برای این سیستم، عمل کرد آن برای مقادیر مختلف پارامترهای مدار همزمانی بررسی شده و بصورت دیاگرامهایی مناسب جهت طراحی ارائه گردیده است. سپس نتایج بدست آمده جهت طراحی یک سیستم خاص که هدف تحقیق بوده، مورد استفاده قرار گرفته است.

۱ - مقدمه

کلمه همزمانی فریم^۲ (FAW) استفاده میشود که بطور متناوب همراه سیگنال ادغام شده ارسال می گردد. قسمتی از سیگنال ادغام شده که شامل بیت های FAW و سیگنالهای انتقالی وابسته به آن باشد، فریم نامیده می شود. عمل همزمانی در گیرنده با شناسائی FAW به وسیله مدار خاصی به نام مدارتنظیم فریم صورت می گیرد. معمولاً برای آشکارسازی FAW یک شیفت رجیستر به طول m بیت (طول FAW) استفاده میشود، بدین ترتیب که رشته داده های دریافتی

یکی از ضرورت های مهم در عمل ادغام اینست که بتوان دوباره سیگنالهای اصلی را از سیگنالهای ادغام شده دریافتی در گیرنده جدا کرد. برای امکان پذیر ساختن این امر لازم است گیرنده اطلاع داشته باشد که شیارهای زمانی سیگنال ادغام شده چگونه به سیگنالهای مختلف آن اختصاص داده شده اند. عبارت دیگر گیرنده باید نسبت به سیگنال دریافتی یا فرستنده همزمان باشد. در عمل برای تحقق این هدف از یک مجموعه بیت با ترکیب معین بنام

مدل دقیقتر ارائه شده در [۳] استفاده شده است. در این روش، که از جهت درک و فهم نیز ساده میباشد، توابع مولد احتمال عملیات همزمانی با استفاده از دیاگرام حالت گذار کلی سینتر [۱۳] بدست آورده شده و سپس جهت محاسبه دقیق مقادیر میانگین و واریانس مشخصه‌های زمانی بکار برده شده است.

۲- عملیات همزمانی فریم

عملیات همزمانی فریم را می‌توان به دو بخش بازیابی همزمانی^۳ و تشخیص عدم همزمانی^۴ تقسیم نمود [۱۸، ۱۹]. عملیات بازیابی همزمانی نیز خود شامل دو فرایند جداگانه جستجو^۵ و تثبیت^۶ می‌باشد.

فرآیند جستجو بطور پی در پی هر مکان بیت در فریم را برای یافتن تطبیقی با ترکیب FAW جستجو میکند (مد جستجو)^۷. اگر تطبیقی پیدا شد، آن مکان بطور موقت بعنوان یک نامزد برای موقعیت FAW پذیرفته شده و فرایند تثبیت فراخوانی میشود. فرایند تثبیت در هر فریم (یا به فواصل زمانی طول یک فریم) محتوی پنجره همزمانی را در مکان نامزده شده امتحان میکند. اگر نتیجه آزمایشها در تعداد معینی از فریمها مثبت بود، همزمانی فریم اعلام میشود. ولی اگر مکان نامزده شده حاوی FAW واقعی نباشد (شبیه‌سازی FAW بوسیله بیت‌های اطلاعات) فرایند تثبیت آن را رد کرده و دوباره فرایند جستجو در بیت بعدی (پنجره همزمانی یک بیت جابجا میشود) شروع بکار می‌کند. این چرخه آنقدر ادامه می‌یابد تا فرایند تثبیت همزمانی فریم را اعلام کند. شبیه سازی FAW بوسیله بیت‌های داده‌های ورودی و تحت تأثیر قرار گرفتن FAW بوسیله خطای انتقال در فرایندهای

(سیگنال ادغام شده) وارد آن شده و با الگوی FAW واقعی مقایسه می‌گردد. در حقیقت شیفت رجیستر فوق شبیه یک پنجره بوده که محتوی آن (محتوی پنجره) همیشه شامل آخرین n بیت (اندازه پنجره) از داده‌های دریافتی است. در صورتیکه FAW برای گیرنده مشخص شود، موقعیت شیارهای زمانی مربوط به سیگنالهای مختلف در فریم مشخص خواهد شد. در سیستمهای عملی بدلائل مختلف ممکن است همزمانی بین فرستنده و گیرنده از بین برود. در این شرایط اولاً باید خارج شدن سیستم از حالت همزمانی تشخیص داده شود و ثانیاً سیستم دوباره به حالت همزمانی برگردانده شود، یعنی شرایط همزمانی بازیابی گردد. قابلیت اطمینان بالا و پاسخ سریع در این شرایط از نکات کلیدی در عملیات بازیابی فریم میباشد که با انتخاب بهینه ساختار فریم و ترکیب FAW امکان پذیر خواهد شد. FAW دارای دو ساختار متفاوت است؛ یکی FAW فشرده^۱ (n بیت مربوطه در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند) و دیگری FAW گسترده^۲ (n بیت مربوطه در طول فریم گسترده شده‌اند). نوع فشرده در استاندارد اروپائی و نوع گسترده در استاندارد آمریکائی بکار برده میشود.

تاکنون برای بررسی عملیات همزمانی فریم مطالعات زیادی انجام گرفته است [۱-۱۱] ولی اغلب آنها ناقص بوده و یا برای سیستمهای با ساختار فریم گسترده کاربرد دارد. در این بین تحلیلهای انجام شده در [۳][۴] از بقیه کاملتر بوده و با خصوصیات سیستمهای موجود نیز انطباق دارد. روش ارائه شده در این مقاله برای تحلیل، در حقیقت تلفیقی از دو کار فوق بوده، که در آن از فرضیات کاملتر بیان شده در [۴] همراه با

همزمانی می‌کند (شبیه سازی شدن FAW).

دو وضعیت AL و MS حالت‌های طبیعی سیستم هستند. وضعیت AS بعلت آسیب دیدن FAW بوسیله خطای انتقال و وضعیت ML به سبب شبیه‌سازی شدن FAW بوسیله بیت‌های اطلاعات دریافتی (که فرض میشود تصادفی هستند) روی میدهد. با توجه به اینکه مدار تنظیم فریم همواره در جهت دستیابی به همزمانی واقعی تلاش میکند، حالت‌های گذار از وضعیت AS به MS و همچنین AL به ML و ML به AL بی‌اهمیت می‌باشند [۳]. حالت گذار از وضعیت AL به ML تنها در اثر یک اختلال واقعی در عملکرد سیستم می‌تواند روی دهد [۴].

۳- تجزیه و تحلیل

برای ارزیابی عملکرد سیستم باید ابتدا معیار مناسبی را تعریف نمود، که بتوان با استفاده از آن چگونگی کار سیستم را بیان کرد و روش‌های مختلف همزمانی را مقایسه نمود. این معیار معمولاً مشخصه‌های زمانی مختلف است که بصورت زیر تعریف میشود:

الف - حداکثر میانگین زمان بازیابی همزمانی^۱: بازیابی همزمانی به گذار از وضعیت MS به AL (از طریق AS) اشاره می‌کند (شکل ۱). لذا زمان بازیابی همزمانی (T_H)، عبارت است از مدت زمان لازم برای اینکه مدار تنظیم فریم با شروع از یک وضعیت غیر همزمانی دوباره همزمانی فریم را برقرار سازد. صفت حداکثر بیانگر بدترین مکان برای شروع جستجوی همزمانی است. در این شرایط پنجره همزمانی درست یک بیت پس از مکان درست FAW میباشد. لذا مدار تنظیم فریم مجبور است که برای برقراری دوباره همزمانی فریم، دست کم تمام بیت‌های درون یک فریم را جستجو کند.

جستجو و تثبیت میتواند دستیابی به همزمانی فریم را به تعویق بیندازد.

پس از اینکه همزمانی فریم اعلام شد، عملیات تشخیص عدم همزمانی برای اطمینان از صحت همزمانی فریم اعلام شده شروع بکار نموده و در هر فریم وجود FAW را امتحان میکند. مادامیکه امتحانات فوق موفقیت آمیز باشد سیستم در وضعیت همزمانی باقی می‌ماند (مد قفل)^۱، ولی اگر یک امتحان با شکست مواجه شود دوباره فرایند تثبیت فراخوانی می‌شود. پس از این اگر تعداد امتحانات ناموفق از یک حد آستانه معین تجاوز کند، وضعیت عدم همزمانی اعلام شده و دوباره عملیات بازیابی همزمانی آغاز می‌گردد.

در شرایط عملی به سبب شبیه‌سازی شدن ترکیب FAW بوسیله بیت‌های سیگنال دریافتی و همچنین آسیب دیدن آن بوسیله خطای انتقال، امکان دارد وضعیتی که مدار تنظیم فریم اعلام می‌کند، واقعی نباشد. بدین جهت وضعیت‌های مهم سیستم را می‌توان بصورت زیر تعریف کرد (شکل ۱):

AL (همزمان و در مد قفل): سیستم به وضعیت درست همزمانی رسیده و مدار همزمانی آنرا تشخیص می‌دهد.

AS (همزمان اما در مد جستجو): سیستم به وضعیت درست همزمانی رسیده ولی مدار همزمانی آنرا تشخیص نمی‌دهد (در اثر خطای انتقال)

MS (غیر همزمان و در مد جستجو): سیستم به وضعیت درست همزمانی نرسیده و مدار همزمانی به دنبال آن می‌گردد.

ML (غیر همزمان اما در مد قفل): سیستم به وضعیت درست همزمانی نرسیده است ولی مدار همزمانی اعلام

حتی اگر مدار همزمانی طوری طراحی شود که زمان فوق به ازای مقادیر بزرگ احتمال خطای انتقال (P_e)، به قدر کافی طولانی باشد، ممکن است به دلیل وقوع خطای گروهی خروج از همزمانی خیلی بیشتر از مقدار مورد انتظار روی دهد. بنابراین حداقل فاصله زمانی لازم برای تشخیص عدم همزمانی بایستی طولانی تر از مدت زمان مورد انتظار حضور خطاهای گروهی باشد [۳].

برای تجزیه و تحلیل عملکرد سیستم ابتدا باید مشخصات مدار تنظیم فریم یعنی ساختار فریم، فرایند جستجو و فرایند تثبیت را تعیین کرد. چون در سیستم‌های موجود (استاندارد اروپائی) از FAW فشرده برای ساختار فریم، از روش جستجوی سری برای فرایند جستجو و از شیوه C بار شمارش پی در پی^۲ برای فرایند تثبیت استفاده میشود، ما نیز تحلیل خود را بر این اساس قرار داده‌ایم. در این بررسی مشخصه‌های زمانی برحسب طول یک فریم (T_f) نرمالیزه شده، مقدار متوسط و واریانس آنها با استفاده از تابع مولد احتمال (PGF) محاسبه شده است. اساس روش بطور مختصر در پیوست تشریح شده است. با در نظر گرفتن شرایط فوق دیاگرام حالت گذار بین دو حالت غیر همزمانی (مد جستجو) و همزمانی (مد قفل) و برای شرایط کلی در شکل (۲) نشان داده شده است. پارامترهای استفاده شده در این شکل عبارتند از:

m : تعداد بیت‌ها در هر فریم (طول فریم)

T_f : مدت زمانی که بوسیله یک فریم اشغال میشود.

δ : مدت زمانی که بوسیله یک بیت اشغال میشود.

β : تعداد حالت‌های میانی فرایند تثبیت در عملیات

بازیابی همزمانی

ب - زمان تشخیص عدم همزمانی^۱: تشخیص عدم همزمانی به گذار از وضعیت AL به MS اشاره میکند. زمان تشخیص عدم همزمانی (T_{of}) عبارت است از مدت زمان لازم برای آشکار سازی وضعیت غیر همزمانی واقعی.

ج - زمان بازیابی نادرست همزمانی^۲: بازیابی نادرست به گذار از وضعیت MS به ML اشاره میکند. این گذار بدلیل شبیه سازی شدن ترکیب FAW بوسیله داده‌های تصادفی روی داده، میتواند سبب شود که مدار تنظیم فریم بطور غیر واقعی همزمانی فریم را اعلام کند. زمان لازم برای اعلام این همزمانی غیر واقعی، زمان بازیابی نادرست همزمانی (T_{mf}) نامیده میشود.

د - زمان خروج از همزمانی^۳: خروج از همزمانی به گذار وضعیت AL به MS (در اثر خطای انتقال) اشاره میکند. در حضور خطای انتقال ممکن است که ترکیب FAW آسیب دیده و مدار تنظیم فریم بطور نادرست عدم همزمانی را اعلام کند. زمانی که طول میکشد تا این عدم همزمانی غیر واقعی اعلام شود، زمان خروج از همزمانی (T_{mf}) نامیده میشود.

زمانهای T_{mf} و T_{of} به عملیات بازیابی همزمانی مربوط می‌شوند. در یک عملیات بازیابی باید زمان T_{mf} بطور مطلق کوچک و زمان T_{of} در مقایسه با آن خیلی بزرگ باشد. یک معیار دیگر اینست که وقتی همزمانی فریم اعلام میشود، احتمال حضور در وضعیت ML در مقایسه با احتمال حضور در وضعیت AL ناچیز باشد. این مهم به عملیات تشخیص عدم همزمانی مربوط میشود که بوسیله زمانهای T_{mf} و T_{of} توصیف میگردد. در اینحالت نیز علاوه بر بزرگ بودن زمان T_{mf} نسبت به زمان T_{of} ، زمان T_{of} نیز باید بطور مطلق کوچک باشد. زمان T_{mf} شدیداً به احتمال خطای انتقال وابسته است.

μ : تعداد حالت‌های میانی فرایند تثبیت در عملیات

تشخیص عدم همزمانی

P_H : احتمال پذیرش FAW در عملیات بازبایی

همزمانی

P_{of} : احتمال پذیرش FAW در عملیات تشخیص عدم

همزمانی

در شکل (۲) متغیر Z بیانگر تأخیر زمانی به اندازه یک فریم (T_f) بوده و $\delta = T_f / m$ می‌باشد. بنابراین Z^0 تأخیر زمانی به اندازه یک بیت را نشان داده و بیانگر حرکت پنجره همزمانی در روش جستجوی سری می‌باشد. در این روش با شروع از مد جستجو، همزمانی فریم وقتی اعلام می‌شود که در $(\beta+1)$ فریم پی در پی ترکیب FAW (به احتمال P_H) بدرستی آشکار شود. در این بین اگر در هریک از حالت‌های میانی شناسائی FAW به شکست انجامید (به احتمال $q_H = 1 - P_H$)، سیستم به مد جستجو برمی‌گردد. همچنین وضعیت عدم همزمانی وقتی قابل تشخیص است که در $(\mu+1)$ فریم پیاپی آشکار سازی FAW (به احتمال $q_{of} = 1 - P_{of}$) با شکست مواجه شود. همانند قبل در اینجا نیز هرگاه در هریک از حالت‌های میانی ترکیب FAW (به احتمال P_{of}) دوباره شناسائی شد، سیستم به مد قفل برمی‌گردد.

احتمال‌های P_H و P_{of} بسته به اینکه محتوی پنجره یک FAW واقعی یا ساختگی (شبهه سازی شده بوسیله داده‌های تصادفی) باشد، هریک دارای مقادیر متفاوتی هستند. بنابراین احتمال‌های گذار زیر را تعریف می‌کنیم.

P_{fs} : احتمال شبهه سازی شدن FAW در عملیات

بازبایی همزمانی

P_{os} : احتمال شبهه سازی شدن FAW در عملیات

تشخیص عدم همزمانی

P_{rd} : احتمال آشکار سازی FAW در عملیات

بازبایی همزمانی

P_{od} : احتمال آشکار سازی FAW در عملیات تشخیص

عدم همزمانی

احتمال‌های فوق به خطای انتقال، طول FAW و همچنین دقت معیار انتخاب شده برای قابل قبول بودن FAW بستگی دارد. فرض کنید وجود FAW هنگامی قابل قبول باشد که n بیت تحت آزمایش (در پنجره همزمانی) در تمام بیتها بجز e_x بیت با الگوی در نظر گرفته شده برای FAW مطابقت داشته باشد. در این صورت با در نظر گرفتن $e_x = e_r$ در عملیات بازبایی همزمانی و $e_x = e_o$ در عملیات تشخیص عدم همزمانی، میتوان نوشت:

$$P_{rd} = \sum_{x=0}^{e_r} \binom{n}{x} P_e^x (1-P_e)^{n-x} \quad (1)$$

$$P_{od} = \sum_{x=0}^{e_o} \binom{n}{x} P_e^x (1-P_e)^{n-x} \quad (2)$$

$$P_{rs} = \sum_{x=0}^{e_r} \binom{n}{x} (0.5)^n \quad (3)$$

$$P_{os} = \sum_{x=0}^{e_o} \binom{n}{x} (0.5)^n \quad (4)$$

بطوریکه:

e_r : حداکثر خطای مجاز برای پذیرش FAW در

عملیات بازبایی همزمانی

e_o : حداکثر خطای مجاز برای پذیرش FAW در

عملیات تشخیص عدم همزمانی

n : تعداد بیت های اختصاص داده شده به FAW

(طول FAW)

شبیه‌سازی شود، برای تشخیص کاذب بودن آن، فرایند تثبیت فراخوانی می‌شود. پس از اینکه ساختگی بودن FAW مشخص شد، فرایند جستجو دوباره شروع شده و مکان بیت بعدی امتحان می‌شود. این عمل آنقدر ادامه می‌یابد تا اینکه فرایند جستجو به موقعیت FAW در مکان بیت m برسد. در مکان صحیح m فرایند جستجو، مشروط بر اینکه FAW بوسیله خطای انتقال آسیب ندیده باشد، ترکیب FAW را شناسایی و مرحله دوم شروع می‌شود.

در صورت عدم شبیه‌سازی FAW، فرایند جستجو (پنجره همزمانی) در مدت زمان یک بیت از مکان بیت i به $i+1$ حرکت می‌کند. اگر اطلاعات در یافتی FAW را شبیه‌سازی کنند، فرایند تثبیت برای تشخیص ساختگی بودن آن دست کم به زمان یک فریم نیاز دارد. اگر شبیه‌سازی FAW در چند فریم متوالی بوقوع بپیوندد، حتی ممکن است که فرایند تثبیت بطور غیر واقعی همزمانی فریم را اعلام کند. با توجه به توضیحات فوق زمان T_{bs} را تعریف می‌کنیم که عبارت است از میانگین مدت زمان لازم برای جابجایی پنجره همزمانی، به اندازه یک بیت، در مد جستجو. مقدار این زمان می‌تواند بین مدت زمان یک بیت (در صورت عدم شبیه‌سازی FAW) تا مدت چند فریم (در صورت شبیه‌سازی متوالی FAW) تغییر نماید (شکل ۳). تابع مولد احتمال مربوط به زمان T_{bs} با توجه به شکل (۳) و با استفاده از قاعده میسون چنین بدست می‌آید [۱۸].

$$P_{bs}(Z) = (q_{rs} Z^\delta) \left[\frac{1 - (P_{rs} Z)^{\beta+1}}{1 - P_{rs} Z} \right] \quad (5)$$

$$+ \frac{P_{rs}^{\beta+1} \cdot q_{os}^{\mu+1} \cdot Z^{(\beta+\mu+\delta+1)}}{1 - Z + P_{os} q_{os}^{\mu+1} \cdot Z^{\mu+2}}$$

p_e : احتمال بوجود آمدن خطا در هر بیت در هنگام انتقال (خطای انتقال)

$$\binom{n}{x} = \frac{n!}{x!(n-x)!} \quad \text{و}$$

در محاسبات فوق فرض شده:

الف - بیت‌های سیگنال دریافتی دو دویی و تصادفی هستند.
ب - هر بیت بطور یکسان و مساوی در معرض خطای کانال می‌باشد.

اکنون با در نظر گرفتن پارامترهای فوق مشخصه‌های زمانی سیستم را محاسبه می‌کنیم. برای این منظور فرض می‌کنیم:

الف - احتمال شبیه‌سازی FAW در حین فرایند جستجو ثابت باشد. وقتیکه سیستم حول طول بهینه FAW کار می‌کند یک فرض معقول می‌باشد [۲].

ب - همزمانی در حد بیت در گیرنده وجود دارد.

۱-۳ - حداکثر میانگین زمان بازبازی همزمانی

عملیات بازبازی فریم (طبق شکل ۱) در دو مرحله صورت می‌گیرد. مرحله نخست مربوط به وقتی است که پنجره همزمانی در شروع کار در بدترین حالت خود (برای حداکثر زمان بازبازی)، یعنی درست یک بیت پس از مکان واقعی FAW باشد. بنابراین قبل از اینکه سیستم به مکان واقعی FAW برسد (گذار از وضعیت MS به AS)، m مکان بیت بایستی در یک فریم امتحان شود. مدت زمان لازم برای امتحان هر یک از $m-1$ مکان بیت نخست، بدلیل شبیه‌سازی شدن FAW، ممکن است بیش از زمان یک بیت گردد. در این مرحله فرایند جستجو پنجره همزمانی را در هر مکان امتحان کرده و اگر محتوی پنجره ترکیب ساختگی FAW نباشد، به مکان بعدی (یک بیت بعد) جابجا می‌شود. اگر FAW

میگیرد که سیستم پس از جستجوی $m-1$ مکان بیت نخست تنها به شناسائی FAW صحیح در آخرین مکان بیت m نیاز دارد. اگر FAW بوسیله خطای انتقال تحت تاثیر قرار نگرفته باشد، مکان فوق (با احتمال P_{rd}) شناسائی شده و سیستم وارد فرایند تثبیت میگردد، وگرنه (با احتمال q_{rd}) جستجوی تمام m بیت دوباره شروع میشود (شکل ۴). بنابراین کل فرایند بازیابی (شامل مراحل اول و دوم) را میتوان بوسیله دیاگرام حالت گذار نشان داده شده در (شکل ۴) توصیف نمود. در این دیاگرام وضعیت S از ادغام دو وضعیت MS و AS در شکل (۱) بدست می آید [۱۸]. با در نظر گرفتن شکل (۴) و با استفاده از قاعده میسون تابع مولد احتمال فرایند بازیابی چنین میشود:

$$P_{rd}(z) = \frac{P_{rd}^{\beta+1} \cdot P_{fd}(z) \cdot Z^{\beta}}{1 - [q_{rd} \cdot P_{fd}(z)] \left[\frac{1 - (P_{rd} \cdot z)^{\beta+1}}{1 - P_{rd}} \right]} \quad (9)$$

بنابراین میانگین زمان بازیابی برابر خواهد شد با

$$T_{rd} = \frac{1}{P_{rd}^{\beta+1}} \left\{ [m - (2n - 3)] (T_{bs} - \delta) + \frac{1 - P_{rd}^{\beta+1}}{q_{rd}} \right\} \quad (10)$$

بعلت پیچیدگی رابطه (۹) محاسبه واریانس در حالت کلی دشوار میباشد. اگر فرض کنیم که احتمال شبیه سازی شدن FAW در عملیات بازیابی (P_{rs}) بسیار کوچک است، آنگاه با صرفه نظر کردن از جملاتی که دارای عامل $\beta+1$ هستند می توان نوشت:

(۱۱)

$$T_{rd} = \frac{1}{[P_{rd}^{\beta+1} \cdot q_{rd}]^2} \left\{ (m - 2n + 3) \left[\left(\frac{P_{rs} q_{rd}}{q_{rs}} \right)^2 A + \left(\frac{P_{rs}}{q_{rs}} \right) B \right] + C \right\}$$

$$A = (m - 2n + 3) (1 - P_{rd}^{\beta+1}) + P_{rd}^{\beta+1}$$

در نتیجه زمان T_{bs} برابر خواهد شد با
(۶)

$$T_{bs} = P'_{bs}(1) = \delta + \frac{P_{rs}}{q_{rs}} (1 - P_{rs}^{\beta}) + \frac{P_{rs}^{\beta+1}}{P_{os}} \left(\frac{1}{q_{os}^{\beta+1}} - 1 \right)$$

اکنون با داشتن T_{bs} ، می توان میانگین مدت زمان لازم برای جابجائی پنجره همزمانی باندازه m بیت (جهت رسیدن به مکان واقعی FAW) را بدست آورد (T_{fd}). در این محاسبه باید توجه داشت که در چند بیت ابتدا و انتهای مجموعه m بیت جابجائی، محتوی پنجره همزمانی شامل تعدادی از بیتهای FAW خواهد بود (ناحیه رویهم افتادگی). در این ناحیه احتمال شبیه سازی شدن FAW خیلی کم است [۱۹]. بررسی های انجام شده نشان داده [۱۶، ۱۷] در صورتیکه الگوی FAW بطور مناسب انتخاب شده باشد، مجموع احتمال های شبیه سازی شدن FAW در ناحیه روی هم افتادگی، کمتر از احتمال شبیه سازی شدن FAW بوسیله اطلاعات تصادفی (یعنی P_{rs}) می باشد. لذا در فرایند جستجو، احتمال شبیه سازی شدن FAW در کلیه حالت های جابجائی در ناحیه رویهم افتادگی را معادل یک جابجائی با اطلاعات تصادفی در نظر می گیرند. با توجه به این نکته، زمان T_{fd} چنین میشود [۱۸].

$$T_{fd} = (n\delta - \delta + T_{bs}) + \{ [m - (2n - 1)] T_{bs} \} \quad (7)$$

$$+ [(n - 1)\delta - \delta + T_{bs}] = [m - (2n - 3)] T_{bs} + (2n - 3)\delta$$

با توجه به توضیحات فوق تابع مولد احتمال مرحله اول

عملیات بازیابی را میتوان بصورت زیر در نظر گرفت.

$$P_{fd}(z) = P_{bs}(z)^{[m - (2n - 3)]} \cdot Z^{(2n - 3)\delta} \quad (8)$$

بعلت حضور خطاهای انتقال، مکان واقعی FAW همیشه بطور موفقیت آمیزی در m بیت نخست جستجو پذیرفته نمی شود. مرحله دوم زمان بازیابی حالتی را در نظر

$$A = (1 - P_{rs}^{(\beta+1)}) \left(\frac{q_{rs}^2}{P_{rs}} \right)$$

$$B = P_{rs} q_{rs} [(\beta+1) q_{rs} P_{rs} + P_{rs} - 1]$$

$$C = P_{rs}^2 \left[1 - P_{rs}^{2\beta+1} - (2\beta+1) q_{rs} P_{rs}^\beta \right]$$

با فرض کوچک بودن احتمال شبیه‌سازی در عملیات بازیابی (P_{rs}) و با صرف‌نظر کردن از جملاتی که دارای عامل $P_{rs}^{\beta+1}$ هستند، خواهیم داشت.

(۱۵)

$$V_{ff} = \frac{1}{P_{rs}^{2(\beta+1)}} \left\{ \left[(\delta-1) + \frac{1}{q_{rs}} \right]^2 + O(P_{rs}^{(\beta+1)}) \right\}$$

۳-۳- زمان تشخیص عدم همزمانی

فرایند تشخیص عدم همزمانی در هر فریم بر مکان همزمانی جاری نظارت کرده، اگر شکستهای متوالی در شناسائی FAW روی دهد، عدم همزمانی را اعلام می‌کند. دیاگرام حالت گذار برای این فرایند در شکل (۶) نشان داده شده است. تابع مولد احتمال تشخیص همزمانی چنین خواهد شد:

$$P_{of}(z) = \frac{(q_{os} \cdot z)^{\mu+1}}{1 - \left[\frac{1 - (q_{os} \cdot z)^{\mu+1}}{1 - q_{os} z} \right] (P_{os} \cdot z)} \quad (16)$$

در این صورت میانگین و همچنین واریانس زمان تشخیص عدم همزمانی چنین می‌شود:

$$T_{of} = \frac{1 - q_{os}}{P_{os} q_{os}^{\mu+1}} \quad (17)$$

$$V_{of} = \frac{1}{P_{os}^2 q_{os}^{2(\mu+1)}} - \frac{2\mu+3}{P_{os} q_{os}^{(\mu+1)}} - \frac{q_{os}}{P_{os}^2} \quad (18)$$

$$B = 2(1 - P_{rd}^{\beta+1}) q_{rd} - (2\beta+1) \left(\frac{P_{rd}^{\beta+1}}{P_{rd}} \cdot \frac{q_{rd}^2}{P_{rd}} \right)$$

$$C = 1 - (2\beta+3) q_{rd} P_{rd}^{\beta+1} - P_{rd}^2 + O(P_{rs})$$

باید توجه داشت برخلاف آنچه که در [۳] گفته شده، با وجود کوچک بودن احتمال P_{rs} نمیتوان در رابطه فوق از جملاتی که دارای عامل P_{rs} هستند صرف‌نظر کرد. چون تمامی آنها تقریباً در یک ضریب m (که معمولاً مقدار بزرگی دارد) ضرب شده‌اند.

۲-۳- زمان بازیابی نادرست همزمانی

همزمانی غیر واقعی هنگامی اتفاق می‌افتد که در حین عملیات بازیابی همزمانی، در فرآیند جستجو یک موقعیت غیر واقعی FAW مورد پذیرش قرار گیرد و این موقعیت در فرایند تثبیت هم تأیید شود. دیاگرام حالت برای این شرایط را میتوان بصورت نشان داده شده در شکل (۵) در نظر گرفت [۳، ۱۸، ۱۹]. همانطور که ملاحظه میشود این فرایند شبیه فرآیند بازیابی می‌باشد، با این تفاوت که اولاً Z جایگزین $P_{fd}(z)$ می‌شود و ثانیاً فرایند تأیید بوسیله P_{rs} کنترل می‌گردد. بنابراین می‌توان نوشت:

$$P_{ff}(z) = \frac{P_{rs}^{\beta+1} Z^{\beta+\delta}}{1 - \left[\frac{1 - (q_{rs} \cdot z)^{\beta+1}}{1 - P_{rs} z} \right] (q_{rs} \cdot z)^\delta} \quad (12)$$

بنابراین میانگین و همچنین واریانس زمان بازیابی

نادرست همزمانی چنین می‌شود:

$$T_{ff} = \frac{1}{P_{rs}^{(\beta+1)}} \left[(\delta-1) + \frac{1 - P_{rs}^{\beta+1}}{q_{rs}} \right] \quad (13)$$

$$V_{ff} = \frac{1}{q_{rs}^2 P_{rs}^{2(\beta+1)}} [A\delta^2 - 2B\delta + C] \quad (14)$$

۴-۳- زمان خروج از همزمانی

T_{ff}	T_{mf}		T_{of}	T_{ff}		مشخصه‌های زمانی نوع سیستم
	$p_e=10^{-3}$	$p_e=0.0$		$p_e=10^{-3}$	$p_e=0.0$	
2×10^4	4×10^8	∞	4.08	7.07	6.95	2Mb/s
2.3×10^6	1×10^8	∞	4.01	3.9	3.81	8Mb/s
1.75×10^6	1×10^8	∞	4.01	4.59	4.48	34Mb/s
4×10^7	5×10^7	∞	4.002	3.81	3.71	140Mb/s

جدول (۲): میانگین مشخصه‌های زمانی سیستم‌های مختلف ادغام

۵- بهینه سازی مقدار پارامترها

در یک سیستم انتقال معمولاً طول فریم (m) و احتمال خطای انتقال (P_e) از پیش معین می‌باشند، در حالیکه سایر پارامترها نظیر e_o, e_r, μ, β, n پارامترهای طراحی هستند. این پارامترها باید به گونه‌ای انتخاب شوند که زمان بازیابی شود. در حقیقت پارامترهای اضافی e_o, e_r برای تعدیل این شرایط متضاد تعریف شده‌اند [۴]. فرض کنید می‌خواهیم یک سیستم ادغام کننده با فریم به طول $m=2816$ طراحی کنیم (سیستم مورد نظر جهت ساخت). در شروع کار چون هیچ ایده‌ای درباره چگونگی انتخاب بقیه پارامترها نداریم، از مشخصات مدار همزمانی توصیه شده بوسیله CCITT (جدول ۱) جهت انتخاب مقادیر اولیه پارامترها استفاده می‌کنیم. سپس مقادیر یک یا دو پارامتر را تغییر داده و اثر آنها را روی عملکرد سیستم بررسی می‌نمائیم.

ابتدا اثر طول FAW را بررسی می‌کنیم. میانگین زمان بازیابی برحسب طول FAW برای مقادیر مختلف احتمال خطای انتقال در شکل (۸) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود برای طولهای کوچک و همچنین طولهای بزرگ FAW زمان بازیابی افزایش می‌یابد. علت آن است که

خروج از همزمانی هنگامی روی میدهد که در فرایند تشخیص غیر همزمانی، FAW بطور پی در پی بوسیله خطای انتقال تحت تاثیر قرار گیرد. بنابراین شرایط خیلی شبیه شرایط تشخیص غیر همزمانی می‌باشد. با این تفاوت که در مرحله تأیید بجای q_{os} باید از q_{od} استفاده کرد (شکل ۷). تابع مولد احتمال برای این فرایند با توجه به شکل (۷) و یا رابطه (۱۶) بصورت زیر خواهد شد:

$$(19) \quad (q_{od}z)^{\mu+1}$$

$$P_{mf}(z) = \frac{1 - (q_{od}z)^{\mu+1}}{1 - [P_{od}z]} (P_{od}z)$$

در این صورت میانگین و همچنین واریانس زمان

خروج از همزمانی چنین خواهد شد:

$$(20) \quad T_{mf} = \frac{1 - q_{od}}{P_{od} q_{od}^{\mu+1}}$$

$$(21) \quad V_{mf} = \frac{1}{P_{od}^2 q_{od}^{2(\mu+1)}} - \frac{2\mu+3}{P_{od} q_{od}^{(\mu+1)}} - \frac{q_{od}}{P_{od}^2}$$

۴- مثال:

بعنوان مثال میانگین مشخصه‌های زمانی بدست آمده برای سیستم‌های ادغام توصیه شده است بوسیله CCITT، که در شبکه‌های مخابراتی دیجیتال بکار برده میشوند (جدول ۱)، محاسبه و در جدول (۲) نشان داده شده است.

مقادیر بدست آمده، نسبت به زمان یک فریم نرمالیزه شده است.

e_o	e_r	μ	β	n	m	CCITT	نوع سیستم ادغام کننده
o	o	3	2	7	512	G 732	مرحله اول 2Mb/s
o	o	3	10	2	848	G 742	مرحله دوم 8Mb/s
o	o	3	2	10	1536	G 751	مرحله سوم 34Mb/s
o	o	3	2	12	2928	G 751	مرحله چهارم 140Mb/s

جدول (۱): پارامترهای سیستم‌های ادغام توصیه شده بوسیله CCITT

شکل (۹) بدست می آید. این منحنی در عین حالی که با منحنی ارائه شده بوسیله هابرل [۲] بخوبی تطبیق دارد، ولی از آن بسیار دقیق تر است. زیرا وی برای استخراج آن از یک مدل بسیار ساده بازایی همزمانی استفاده کرده است. همچنین این منحنی با مقادیر توصیه شده در جدول (۱) نیز بطور قابل قبولی هماهنگ می باشد. با در دست داشتن این منحنی میتوان بسادگی طول بهینه FAW را برای هر طول دلخواه فریم انتخاب کرد.

اکنون اثر پارامترهای عملیات بازایی یعنی β و e_p را بررسی میکنیم. با توجه به شکل (۱۰) مشاهده میشود که با افزایش e_p و حتی به ازای $e_p = 1$ میانگین زمان بازایی (بعلت زیاد شدن احتمال شبیه سازی شدن FAW) بشدت افزایش می یابد. بنابراین برای تسریع شناسائی FAW (برای احتمال خطای بزرگ) جهت بهبود عملکرد بازایی نمیتوان مقدار e_p را بیش از صفر در نظر گرفت، مگر اینکه مطابق آنچه که بوسیله جونز [۴] پیشنهاد شده، برای گذار بین حالت‌های میانی در فرایند تثبیت و یا حضور در آنها (با اضافه کردن خود حلقه‌هایی روی این حالتها) آستانه‌های خطای متفاوتی (e_{OS}, e_p) برای عملیات بازایی تعریف کرد. ولی چون این عمل در ازای افزایش قابل توجه پیچیدگی مدار تنها به بهبود اندکی در عملکرد سیستم منجر میشود، بجز در موارد خاص (مانند مراحل بالای سلسله مراتب ادغام) چندان توصیه نمیشود. با در نظر گرفتن شکل (۱۰) و همچنین تغییرات T_{FF} بر حسب β [۱۸]، نتیجه میشود که انتخاب $\beta = 2$ یا 3 مناسب میباشد.

سرانجام اثر پارامترهای مربوط به عملیات تشخیص عدم همزمانی (e_0, μ) را بررسی می‌کنیم. اثر این پارامترها روی

هرچه طول FAW کوچکتر باشد، احتمال شبیه سازی شدن آن بیشتر و هرچه طول آن بزرگ باشد راحت تر تحت تاثیر خطای انتقال قرار می‌گیرد. بطوریکه مشاهده می‌شود، برای طول معینی از FAW تغییرات زمان بازایی، ثابت (برای احتمال خطای کوچک) و یا دارای یک حداقل (برای احتمال خطای زیاد) میگردد. بررسی‌های انجام شده نشان میدهد که زمان T_{OF} برای FAW؛ با طولهای بزرگتر از ۵ بیت به حداقل مقدار خود رسیده و از آن پس تغییرات چندانی نمیکند [۱۸].

زمانهای T_{FF} و T_{mf} به شدت به طول FAW حساس میشوند، بطوریکه با افزایش آن بطور لگاریتمی T_{mf} کم و T_{FF} زیاد میشود. نکته قابل توجه دیگر اینکه با افزایش طول FAW ضریب $\alpha = n/m$ که بیانگر اشغال ظرفیت سیستم بوسیله FAW است نیز افزایش یافته و در نتیجه کارآئی انتقال پائین می‌آید. بنابراین برای انتخاب طول FAW یکدسته شرایط مغایر هم وجود دارد. اما اگر طول FAW برابر مقدار بهینه آن (برای زمان T_{FF}) انتخاب شود، سایر شرایط بطور قابل قبولی ارضا میشوند. بویژه آنکه تغییرات انحراف استاندارد زمان بازایی S_{FF} نیز بسیار شبیه تغییرات میانگین زمان فوق میباشد. به عبارت دیگر، حول طول بهینه FAW علاوه بر کوتاه شدن زمان بازایی، تغییرات آن نیز به حداقل میرسد. لذا با توجه به شکل (۸) یک مقدار مناسب برای طول FAW، $n = 12$ میباشد. همانطور که در بالا دیدیم بیشترین اثر طول FAW روی زمان بازایی بوده و اگر طول آن طوری انتخاب گردد که زمان فوق بهینه شود، شرایط مربوط به سایر مشخصه‌های زمانی نیز بخوبی برآورده میشود. از بهم پیوستن مقادیر بهینه طول FAW برای مقادیر مختلف طول فریم، به ازای مقادیر توصیه شده سایر پارامترها ($\beta = 2, \mu = 3, e_p = e_0 = 0$) دیاگرامی مطابق

سیستمی برای مقادیر مختلف خطای انتقال در شکل (۱۲) به نمایش در آمده است. چون زمانهای T_{off} و T_{ff} مستقل از خطای انتقال می‌باشند، منحنی آنها ترسیم نشده، اما مقادیر آنها به ترتیب برابر $T_{ff} = S_{ff} = 4/1 \times 10^7$ ، $T_{off} = 4$ و $S_{off} = 0/086$ می‌باشد. با توجه به شکل (۱۲ الف) مشاهده می‌شود که عملکرد سریع (T_{ff} کوتاه) و مطمئن (S_{ff} کوچک) مدار همزمانی در عملیات بازیابی تنها تا خطای انتقال در حدود 10^{-3} امکان پذیر می‌باشد. مقادیر T_{off} و S_{off} نیز بیانگر یک زمان تشخیص عدم همزمانی کوچک با تغییرات ناچیز (حدود ۲ درصد) می‌باشد، در حالیکه مقادیر T_{ff} و S_{ff} نشان می‌دهند اگر چه زمان بازیابی نادرست طولانی است ولی مقدار آن بشدت (حدود ۱۰۰ درصد) تغییر می‌کند. همچنین شکل (۱۲ ب) نشان می‌دهد که مقادیر T_{mf} و S_{mf} تقریباً یکی بوده و بشدت با افزایش خطای انتقال کاهش می‌یابد. بنابراین زمان خروج از همزمانی نیز دارای تغییرات زیادی (حدود ۱۰۰ درصد) بوده و با افزایش خطای انتقال، سیستم سریعتر از همزمانی خارج می‌شود.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک تحلیل جامع از عملیات همزمانی فریم برای سیستم‌های ادغام‌کننده دیجیتال (با استاندارد اروپائی که در ایران نیز استفاده می‌شود) ارائه شده است. با استفاده از چهار مشخصه زمانی تعریف شده برای این سیستم، عملکرد آن برای مقادیر مختلف پارامترهای مدار همزمانی بررسی شده است. برای بدست آوردن مشخصه‌های زمانی از توابع مولد احتمال که با استفاده از دیاگرام حالت گذار کلی سیلتر بدست می‌آید استفاده شده است. این روش برای درک و فهم نحوه کار مدار همزمانی آسان بوده و بکمک آن میتوان مقادیر

زمان بازیابی بسیار ناچیز است، بطوریکه میتوان از آن صرف نظر کرد. با توجه به شکل (۱۱) ملاحظه می‌شود که در این حالت، برخلاف حالت قبلی، تحت شرایطی امکان بهبود عملکرد سیستم وجود دارد. به این ترتیب که میتوان برای کاهش T_{off} مقدار μ را کاهش داده و سپس برای جبران کاهش زمان T_{mf} بعلت تغییر فوق، و با توجه به اینکه تغییرات T_{off} نسبت e_0 های کوچک ($e_0 < 3$) چندان قابل توجه نیست، مقدار e_0 را اندکی افزایش داد. به عنوان مثال میتوان از مقادیر $e_0 = 3$ و $\mu = 1$ استفاده کرد. که در اینصورت با توجه به شکل (۱۱) مقادیر زمانی $T_{off} = 2/2$ و $T_{mf} = 4/1 \times 10^{18}$ بدست می‌آید. به ازای پارامترهای توصیه شده یعنی $e_0 = 0$ و $\mu = 3$ مقادیر زمانی فوق به ترتیب $T_{off} = 4$ و $T_{mf} = 5 \times 10^7$ خواهد بود. بنابراین، همانطور که در [۴، ۵، ۶] نیز بیان شده، اصلاح پارامترهای فوق عملکرد مدار تنظیم فریم در عملیات تشخیص عدم همزمانی را بهبود میبخشد. البته استفاده از روش فوق دارای محدودیتهایی نیز می‌باشد، زیر اولاً "قرار دادن $e_0 = 3$ " پیچیدگی مداری سیستم را افزایش داده و ثانیاً کاهش حالت‌های میانی در عملیات تشخیص عدم همزمانی، آسیب‌پذیری سیستم را نسبت به خطاهای گروهی افزایش می‌دهد. به این ترتیب که اگر به ازای مقدار $\mu = 3$ (توصیه CCITT) برای خروج از همزمانی طول خطای گروهی دست کم بایستی $4 = \mu + 1$ فریم باشد، با انتخاب $\mu = 1$ حتی خطاهایی به طول ۲ فریم سبب خروج از همزمانی میشوند.

بنابراین در صورتیکه احتمال حضور خطای گروهی زیاد باشد، بهترین مقادیر برای سیستم مورد نظر ($m = 2816$)، $m = 12$ یا 2 ، $\beta = 3$ و $\mu = 3$ می‌باشد. عملکرد چنین

که در آن Z یک متغیر ساختگی ($1 < Z < 1$) می باشد، تابع مولد احتمال متغیر تصادفی X نامیده میشود. این تابع دارای خواص مهم زیر است [۱۴].

$$P_x(1)=1 \quad (3-1)$$

$$\bar{X}=P'_x(1) \quad (4-1)$$

$$V_x=P''_x(1)+P'_x(1)-[P'_x(1)]^2 \quad (5-1)$$

در روابط فوق، \bar{x} و V_x به ترتیب مقدار متوسط و واریانس متغیر تصادفی X میباشند. در مسئله مورد نظر ما در این مقاله، متغیر تصادفی مشخصه های زمانی مدار همزمانی فریم و تابع مولد احتمال هر مشخصه زمانی برابر تابع انتقال سیگنال در دیاگرام حالت گذار کلی سیتلر مربوط به آن می باشد [۱۳].

۸- تشکر و قدردانی

این تحقیق با استفاده از امکانات معاونت جهاد خودکفائی نهاجا انجام گرفته که بدینوسیله از مسئولین محترم این نهاد صمیمانه تشکر و قدردانی میشود.

میانگین و واریانس مشخصه های زمانی سیستم را محاسبه نمود. نتایج بدست آمده نشان میدهد که طول FAW یکی از مهمترین پارامترهای سیستم میباشد. بطوریکه بازاء مقدار معینی از آن، زمان باز یابی بهینه شده و سایر مشخصه های زمانی مقادیر قابل قبولی پیدا خواهند کرد. بهمین دلیل، تغییرات طول بهینه FAW بر حسب طول فریم به صورت دیاگرامی ارائه شده که میتواند جهت طراحی مورد استفاده قرار گیرد. گاهی اوقات بمنظور بهبود عملکرد سیستم، مخصوصاً در مواردی که خطای انتقال مقدار قابل ملاحظه ای دارد، اجازه داده میشود تا در شناسائی FAW چند بیت خطا مجاز باشد. نتایج بدست آمده نشان میدهد که استفاده از این روش تنها در عملیات تشخیص عدم همزمانی، آنها هم تحت شرایطی میتواند مؤثر باشد.

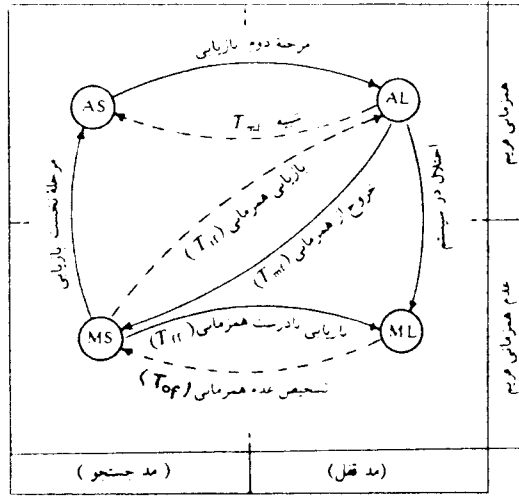
۷- پیوست

فرض کنید X یک متغیر تصادفی گسسته بوده و داریم

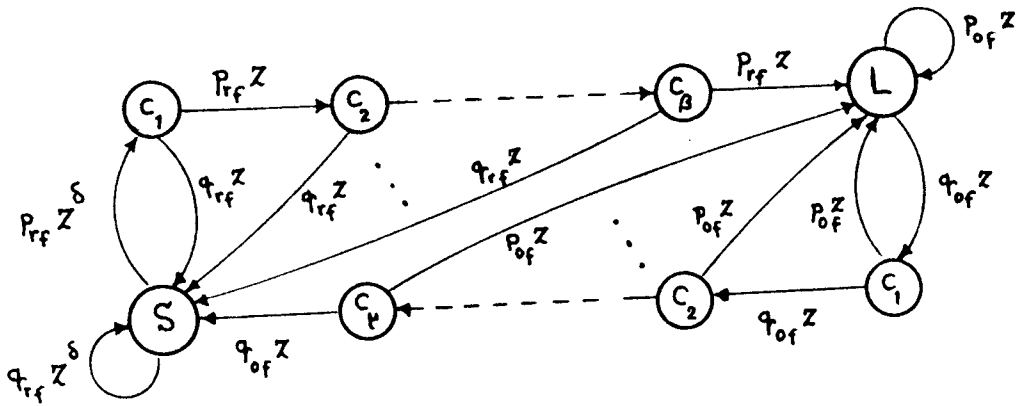
$$P_k=P(X=k), \quad k=0,1,2,\dots \quad (1-1)$$

در این صورت تابع:

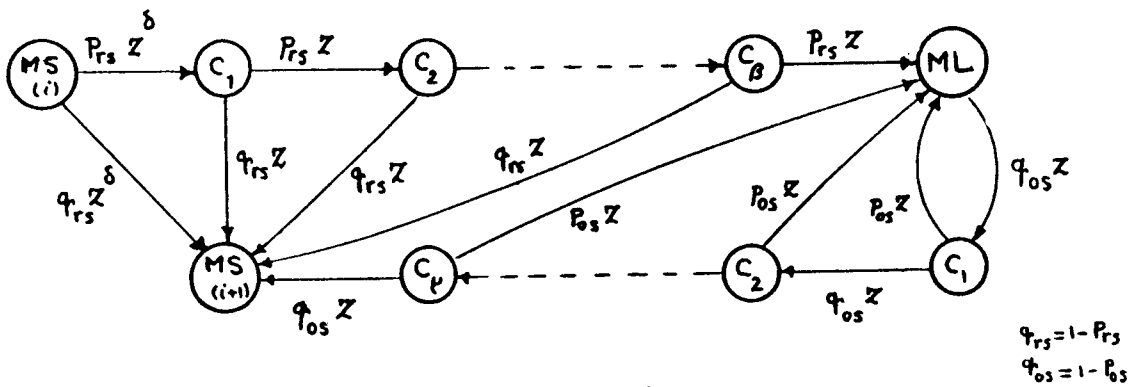
$$P_x(z)=\sum_k P_k Z^k \quad (2-1)$$



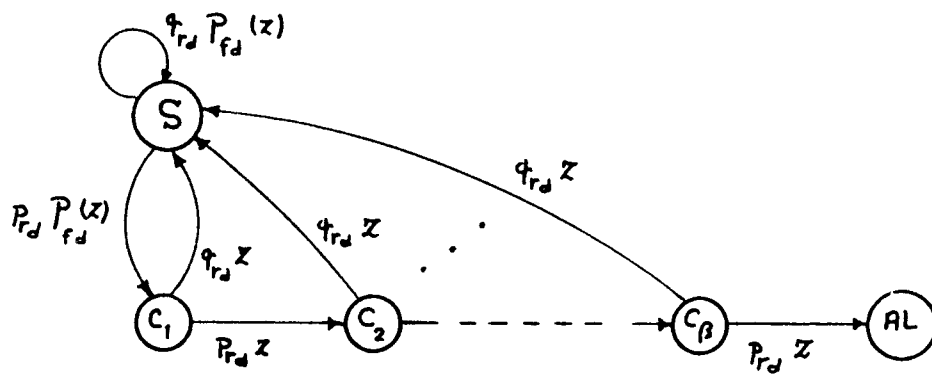
شکل (۱) - وضعیتهای مهم سیستم در عملیات همزمان فریم



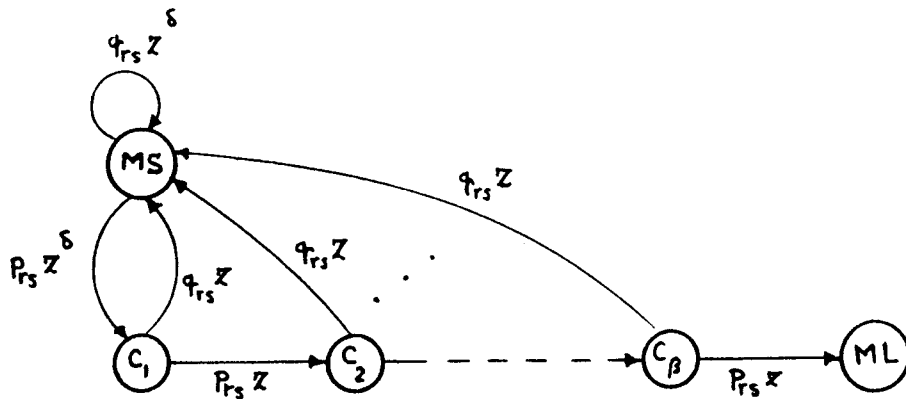
شکل (۲) دیاگرام حالت گذار الگوریتم همزمانی



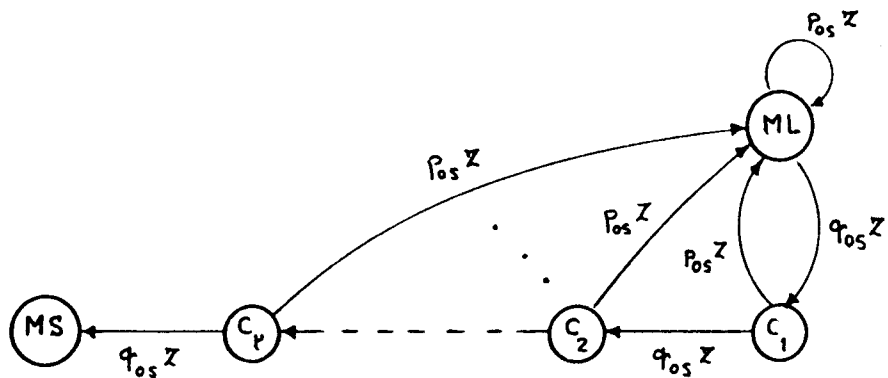
شکل (۳) - دیاگرام حالت گذار مربوط به فرایند جستجو (در مرحله نخست)



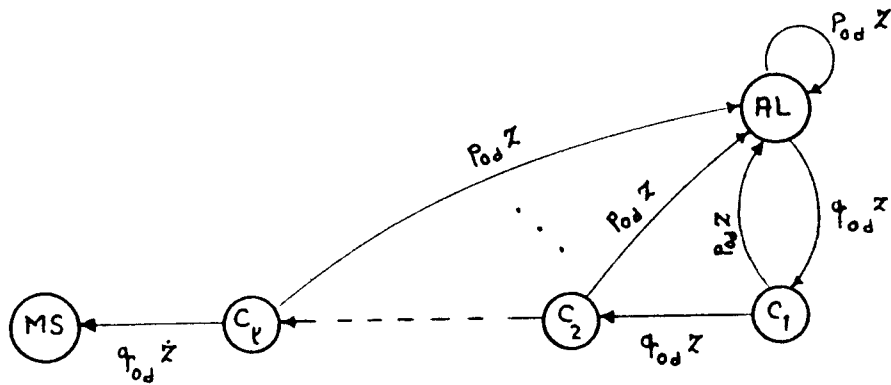
شکل ۴ - دیاگرام حالت گذار عملیات بازیابی همزمانی فریم



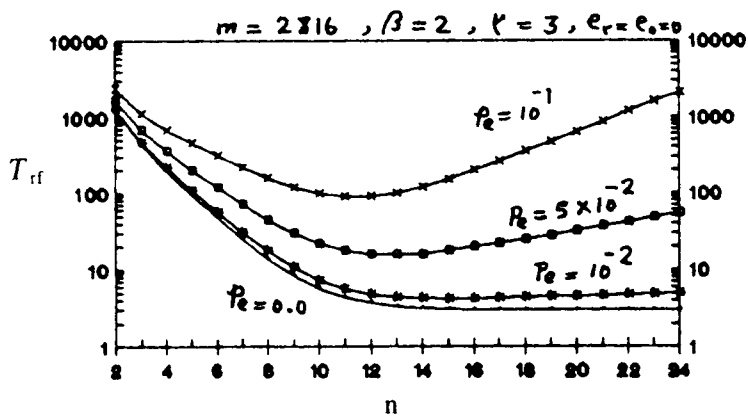
شکل (۵) - دیاگرام حالت گذار مربوط به بازیابی نادرست



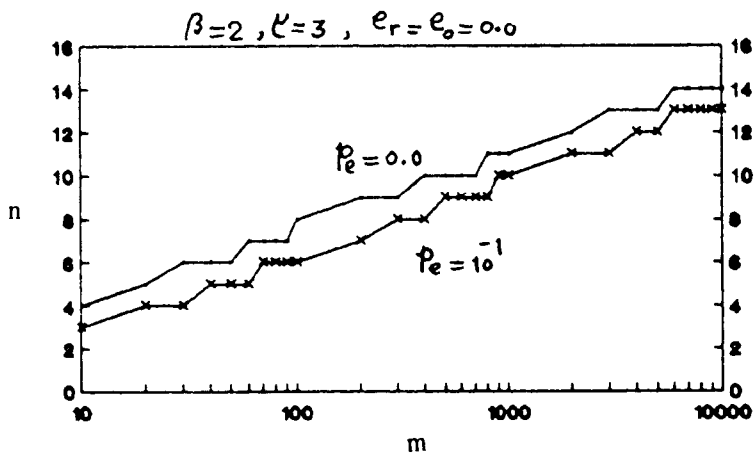
شکل (۶) - دیاگرام حالت گذار مربوط به تشخیص عدم همزمانی



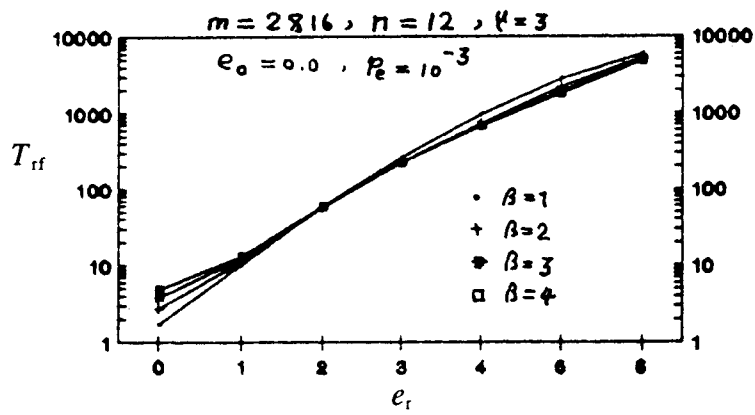
شکل (۷) - دیاگرام حالت گذار مربوط به خروج از همزمانی



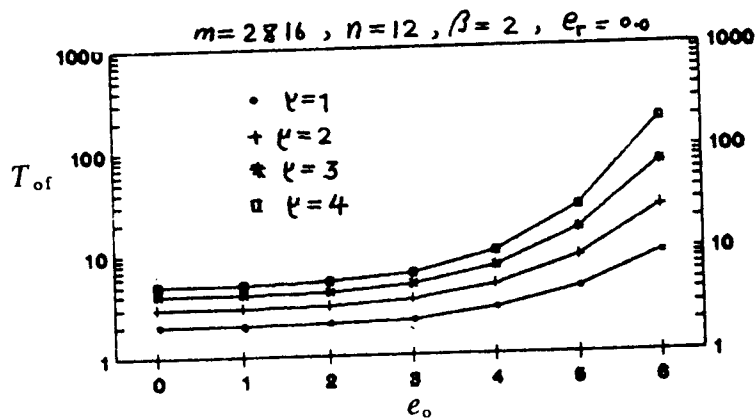
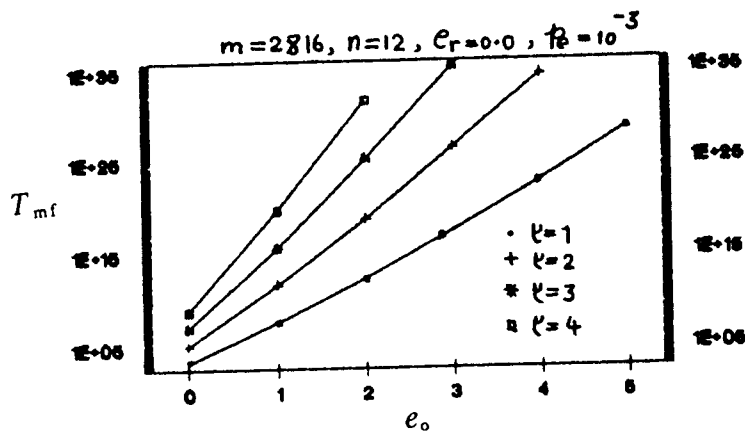
شکل (۸) - تغییرات میانگین زمان بازیابی بر حسب طول FAW برای مقادیر مختلف احتمال خطای انتقال



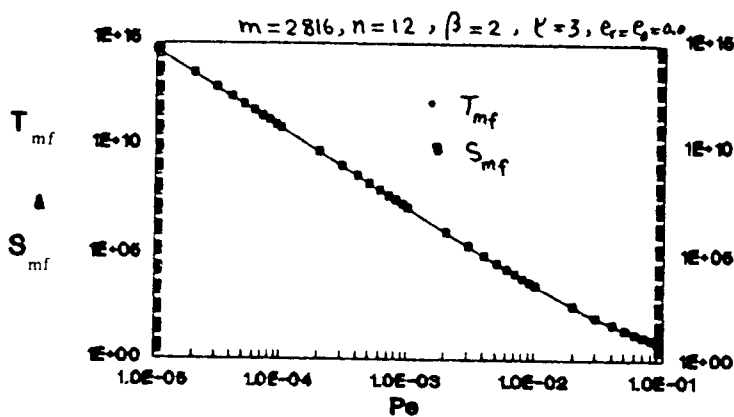
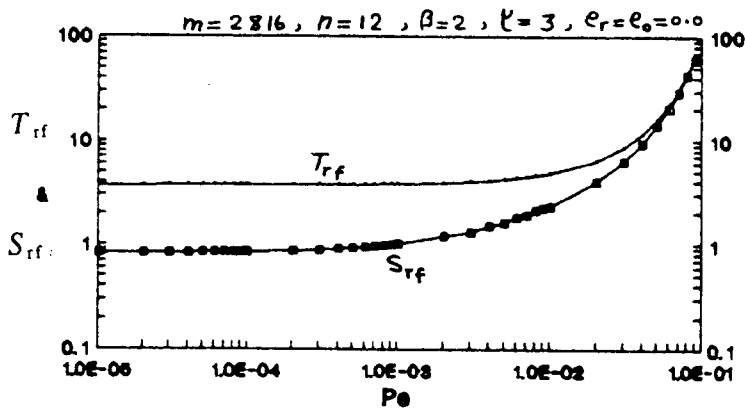
شکل (۹) - تغییرات طول بهینه FAW (متناظر با مقدار بهینه T_{rf}) بر حسب طول فریم



شکل (۱۰) اثر پارامتر e_r روی میانگین زمان بازیابی برای مقادیر مختلف



شکل (۱۱) اثر پارامتر e_o روی عملکرد عملیات تشخیص همزمانی برای مقادیر مختلف l



شکل (۱۲) - اثر خطای انتقال روی میانگین و انحراف استاندارد مشخصه های زمانی

الف - زمان بازیابی همزمانی ب - زمان خروج از همزمانی

- 1 - Bylanski, p.& Ingram: "Digital Transmission Systems" Peter Peregrinus Ltd. London, 1980.
- 2 - Haberle, H : "Frame Synchronizing PCM Systems" ,Electrical Communication. Vol.44, No. 4,pp. 280-287, 1969
- 3 - Choi, D.W.: "Frame Alignment In a Digital Carrier System. A Tutorial" , IEEE Communication magazine, pp.47-54, Feb. 1990.
- 4 - Jons, E.V.& Al- Subbagh, M.N.: "Algorithms For Frame Alignment-Some Comparisons", IEE Proceedings, Vol. 132, Pt. no.7,pp. 529-536, Dec. 1985
- 5 - Dodds, D.E & Pan, etal: "Robust Frame Synchronization For Noisy PCM Systems", IEEE Trans. Commun., Vol. COM-33, no.5,pp.465-469, May 1985
- 6 - Dodds, D.E & Pan, S.M.: "Robust Framing Receiver for 2.048 Mb/s PCM System" , Electronics letters, Vol. 26, no.14, PP. 1077-1079, July 1990.
- 7 - Nilsson, A.& etal: "Frame Synchronization Failure :Detection and recovery" IEEE Trans. Commun., Vol. com-39, No. 4, PP. 613-617, April 1991.
- 8 - Maruta, A.& etal: "Frame Synchronization Failure: Detection and Recovery", IEEE Trans. commun., Vol. com - 28, PP.1228-1233, Aug.1980.
- 9 - Eu, J.H & Rollins, W.W.: "A Performance Review of out - of Frame detection schemes for Ds1 signal" IEEE Trans. comuin. vol.com -39, no.6,pp. 1004-1009, June 1991.
- 10 - Dodd, d.E., & etal: "Statistical Distribution of PCM Framing Times", IEEE Trans commun. Vol.36,no.11,pp.1236-1141, Nov.1988.
- 11 - Munhoz, D.T.R. & etal:"On Frame synchronization of PCM Systems" IEEE Trans. commun. Vol. Com-28, no. 8, pp, 1213-1218, Aug. 1980.
- 12 - Owen, F.F.E.: "PCM & Digital Transmission Systems", Texas Instruments Electronics services, McGraw - Hill, New York, 1982.
- 13 - Sittler, R. W. : "Systems Analysis of Discrete Markov Processes", IRE Trans. on Circuit Theory, vol.ct-3, pp. 257-266, Dec. 1956.

- 14- Feller, W.: "An Introduction to Probability Theory and Its applications, vol.1, John Wiley & sons, 1968.
- 15 - Henkel, W. & Keller, P.: "Probability of Frame synchronization Failure For Binary and Complex -valued sequences", IEE Proceedings, vol. 139, no. 1, pp. 29-35 Feb. 1992.
- 16 - Willard, M.W., "Optimum Code Patterns For PCM Synchronization", Proc. of the National Telemetry conference, Washington, May 1962.
- 17 - Styles, F. J. & Maury, J. L., "Development of Optimum frame synchronization Codes For Gsfc PCM Telemetry Standards, Proc. of National telemetry conference (USA) 1964, Section 3-1, pp 1-10

- ۱۸- مجید صدری، سیستم 8 Mb/s MULDEX، مطالعه - طراحی - ساخت، پروژه کارشناسی ارشد، زیر نظر دکتر ناصر رضائی، گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشکده فنی - دانشگاه تهران، سال ۷۲.
- ۱۹- دکتر ناصر رضائی، سیستم‌های انتقال مخابراتی دیجیتال، جزوه درسی، گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشکده فنی - دانشگاه تهران، سال ۷۱.