

ره یابی کد PN در سیستمهای مخابراتی طیف گسترده دنباله مستقیم CDMA

مرتضی مردانی کرانی

بحش مهندسی برق

دانشکده فنی دانشگاه شهید باهنر کرمان

Mardani2 @ yahoo.com

چکیده:

از آنجایی که موفقیت یک سیستم طیف گسترده در آشکارسازی به قدرت گیرنده در سنکرون سازی دنباله تولید شده با دنباله PN دریافتی وابسته است سنکرون سازی یکی از مهمترین بخشهای یک سیستم طیف گسترده CDMA¹ می باشد گیرنده از دنباله PN² ارسالی اطلاع دارد اما فاز آن به هنگام دریافت را باید از روی سیگنال ورودی بدست آورد. یکی از مهمترین و پیچیده ترین قسمت های سنکرون سازی ره یابی می باشد. ره یابی³ انطباق فاز سیگنال دریافتی و فاز کد PN تولید شده در یک بازه زمانی معین می باشد.

این مقاله به بررسی روشهای ره یابی کد PN در سیستمهای مخابراتی CDMA می پردازد. در روش جستجوی موازی فاز سیگنال ورودی به طور همزمان با یک مجموعه فاز مقایسه شده و فاز با بیشترین همبستگی انتخاب می گردد. این روش زمان کمی احتیاج دارد اما در عوض پیچیدگی سخت افزاری آن بسیار زیاد است. در جستجوی سری در هر مرحله یک فاز بررسی شده و همبستگی آن با سیگنال ورودی سنجیده می شود. این روش پیچیدگی سخت افزاری کمی دارد اما در عوض زمان متوسط زیادتری احتیاج دارد. اما روش جستجوی هیبرید ترکیبی از روشهای سری و موازی برای رسیدن به حالت بهینه می باشد. که ساختار سخت افزاری بسیار ساده تری از روش موازی دارد و به زمان متوسط کمتری نسبت به روش سری دست پیدا می کند.

واژگان کلیدی: طیف گسترده، سنکرون سازی، ره یابی، سلول فاز، DS/SS.

1- Code division multiple access.

2- Pseudo Noise.

3- Acquisition.

۱- مقدمه :

امروزه سیستمهای مخابراتی طیف گسترده مورد توجه زیادی خصوصاً در کاربرد مخابرات سیار سلولی قرار گرفته‌اند برای تحقق گسترش طیف در این سیستمها دو روش طیف گسترده دنباله مستقیم (DS/SS)⁴ و پرش فرکانسی (FH)⁵ وجود دارد [۱ و ۶]. در روش (DS/SS) سیگنال باند پایه، با استفاده از دنباله PN به یک دنباله باند وسیع تبدیل می‌شود. گسترده شدن باند منجر به کمتر شدن چگالی طیف توان شده و این سیگنال برای سایر گیرنده‌ها شبیه نویز عمل کرده و در نتیجه به سادگی توسط سایر گیرنده‌ها قابل دریافت نیست مگر آنکه گیرنده از کد مخصوصی که توانایی فشرده‌سازی، سیگنال طیف گسترده را داشته باشد مطلع باشد بنابراین می‌توانیم کدهای امضای خاصی را بیابیم که بر هم عمود باشند یعنی دیگر همبستگی آنها صفر باشد، در نتیجه بسیاری از سیگنالهای طیف گسترده می‌توانند از کانال ارتباطی مشابهی استفاده کنند. به این روش دستیابی چندگانه با تقسیم کد CDMA گفته می‌شود. در فرستنده علاوه بر سیگنال طیف گسترده مدوله شده، سیگنال گسترش‌دهنده طیف بدون هیچ گونه مدولاسیونی فرستاده می‌شود و این سیگنال راهنما در گیرنده دریافت شده و بدین طریق گیرنده از سیگنال PN ارسالی اطلاع پیدا می‌کند اما همزمانی سیگنال PN با سیگنال مدوله شده ارسالی را باید از طریق سنکرون‌سازی بدست آورد. سنکرون‌سازی کد PN در حالت کلی به دو قسمت تقسیم می‌شود اولین قسمت رهایی^۶ نامیده می‌شود. انطباق فاز PN دریافتی و فاز سیگنال تولید شده در یک بازه زمانی معین می‌باشد. قسمت دوم ردگیری^۷ یا دنبال کردن فاز می‌باشد که انطباق دقیق آن دو را موجب می‌شود [۱ و ۶].

۲- سنکرون‌سازی در CDMA:

همانطور که بیان شد سنکرون‌سازی یکی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین وظایف یک سیستم CDMA، طیف گسترده دنباله مستقیم می‌باشد. سیگنال گسترده شده توسط کد PN به وسیله‌ی حامل با مدولاسیونهایی نظیر BPSK و QPSK مدوله شده و از طریق آنتن تشعشع می‌گردد. که $b(t)$ اطلاعات باینری و $c(t)$ سیگنال PN باینری می‌باشد [۱ و ۶].

$$S(t) = A b(t) C(t) \sin(2\pi f_c t + \theta) \quad (1)$$

سیگنال دریافت شده در گیرنده $S(t-T)$ می‌باشد.

$$S(t-\tau) = A b(t-\tau) C(t-\tau) \sin(2\pi f_c t + \theta') \quad (2)$$

همانطور که در شکل (۱) دیده می‌شود بعد از عبور از سنکرون‌سازی سیگنال موردنظر به یک سیگنال باند میانی با پهنای باند باریک به صورت $W(t)$ تبدیل می‌شود.

$$W(t) = A b(t-\tau) \sin(2\pi f_c t + \theta') \quad (3)$$

در مرحله بعدی برای آشکارسازی اطلاعات فرض کنید که گیرنده فاز θ' ، فرکانس f_c و ابتدای هر بیت را می‌داند، دمولاتور BPSK شامل یک قسمت محاسبه همبستگی است که دنبال آن واحد مقایسه کننده قرار گرفته و برای آشکارسازی بیت i ام، انتگرالگیر محاسبات زیر را انجام می‌دهد [۱].

$$Z_i = \int_{t_i}^{t_i+T} W(t) \sin(2\pi f_c t + \theta') dt = \pm \frac{AT}{2} \quad (4)$$

⁴- Direct Sequence spread spectrum.

6- Acquisition.

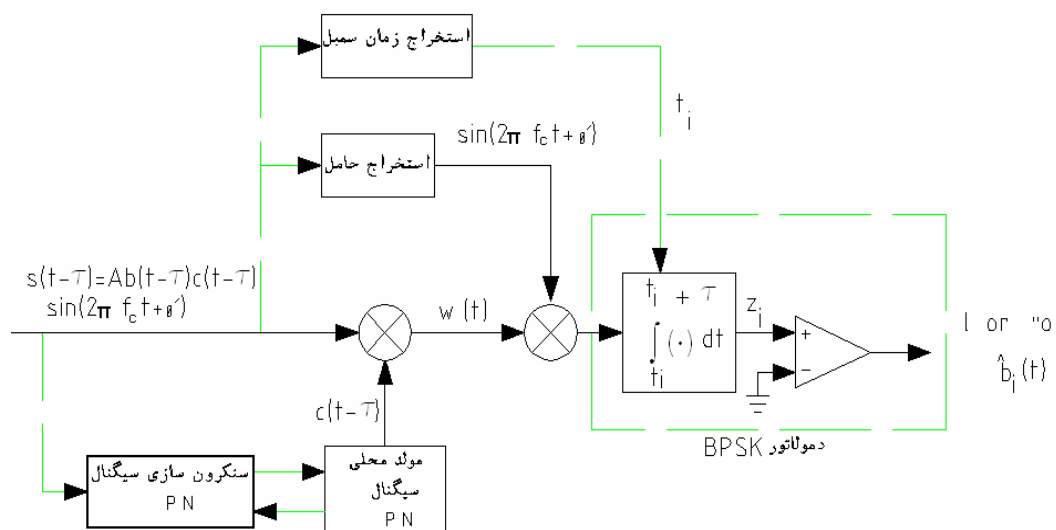
5- Frequency hopping.

7- Tracking.

در قسمت بعد Z_i ، با سطح آستانه مقایسه می‌شود و اگر سطح آستانه را صفر انتخاب کنیم خروجی -1 و $+1$ خواهد بود.

اما در این قسمت هدف، بیشتر بررسی بلوک سنکرون سازی کد PN می‌باشد که اثرات نویز و اعوجاج دیگر کاربران نیز در نظر گرفته می‌شوند. معمولاً اولین قسمت گیرنده، فیلتر میان گذر باند وسیع است که پهنای باند سیگنال SS را حول فرکانس مرکزی f_c در برمی‌گیرد و نویز خارج از باند و تداخل را حذف می‌نماید. سنکرون سازی شامل دو قسمت رهیابی و ردگیری است واحد رهیابی سیگنال PN، سیگنال $C(t-\tau)$ را تولید می‌کند به طوری که $|t-\tau| < \Delta T_c$ و مقدار کوچکی در حدود نصف چیب $(\frac{T_c}{2})$ می‌باشد برای آنکه فاز τ در محدوده

$(t - \Delta T_c, t + \Delta T_c)$ باشد این واحد در میان یک مجموعه فاز جستجو کرده و فازی را که بیشترین همبستگی را دارد بدست می‌آورد در واقع هدف اصلی واحد رهیابی این است که دنباله PN ورودی را با PN محلی در این بازه زمانی بر یکدیگر منطبق سازد اگر فاز حامل در هنگام فرآیند رهیابی در دسترس باشد آشکارسازی به صورت همفاز است، اما در بسیاری از موارد فاز حامل در هنگام رهیابی دنباله PN در دسترس نیست، با وجود اینکه فرکانس حامل برای فرستنده و گیرنده مشخص است اما در هنگام تولید فرکانس حامل در فرستنده یا گیرنده ممکن است خطاهای کوچکی وجود داشته باشد، علاوه بر آن فرکانس حامل ممکن است در اثر شیفت دوپلر تغییر پیدا کند، بنابراین آشکارسازی همفاز در هنگام رهیابی معمولاً ممکن نیست و از آشکارسازی ناهمفاز استفاده می‌شود. پس از آنکه فاز حامل در محدوده‌ی موردنظر بدست آمد واحد ردگیری با استفاده از حلقه‌های بسته سعی می‌کند تا اختلاف فاز بین آنها را به صفر برساند [۱ و ۳ و ۶].



شکل ۱ - نمودار بلوکی گیرنده سیستم DS/SS-BPSK

۳- روشهای رهیابی کد PN:

در طراحی سیستم‌های رهیابی، معیارهای مهم کارایی سیستم یکی زمان متوسطی است که در حین فرآیند رهیابی صرف می‌شود (Tacq) و دیگری پیچیدگی سخت‌افزاری سیستم سنکرون کننده می‌باشد. روشهای گوناگونی برای رهیابی کد PN پیشنهاد شده‌اند که بر اساس سیاست جستجو به روشهای جستجو سری، موازی و هیبرید که ترکیبی از سری و موازی است دسته‌بندی می‌شوند. جستجو در هر یک از این روشها ممکن است به صورت اقامت

ثابت، اقامت چندگانه یا اقامت مداوم باشد. در روش اقامت ثابت تصمیم‌گیری جهت انطباق یا عدم انطباق دنباله‌ها با انتگرال‌گیری روی بازه معینی (زمان اقامت) از همبستگی سیگنال انجام می‌گیرد. در اقامت دوگانه ابتدا همبستگی روی یک بازه زمانی که اقامت اول نامیده می‌شود محاسبه شده و اگر مقدار آن کافی نبود، فاز مورد بررسی حذف می‌گردد ولی اگر مقدار همبستگی مناسب بود زمان اقامت دوم انتخاب شده و مجدداً همبستگی محاسبه می‌شود و در مورد انطباق یا عدم آن تصمیم‌گیری انجام می‌گیرد. منظور از روش اقامت دوگانه آن بوده است که مرحله دوم تأییدی بر انطباق مرحله اول باشد، در حالی که عدم انطباق سریعاً در همان مرحله اول تعیین می‌شود [۵۳ و ۵۱].

۳-۱- روش جستجوی موازی:

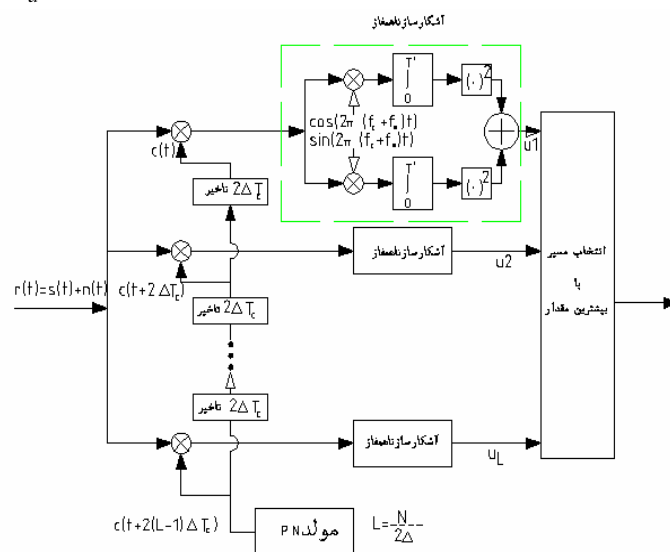
در روش مقایسه موازی، بطور همزمان فاز سیگنال ورودی با یک مجموعه فاز مقایسه شده و به وسیله‌ی محاسبه همبستگی سیگنال ورودی و سیگنال مرجع آنکه احتمال بیشتری دارد انتخاب می‌شود اگر پریود سیگنال PN برابر NT_C باشد و محدوده‌ی موردنظر برای رهیابی بازه $(-\Delta T_C, +\Delta T_C)$ باشد که معمولاً $\frac{1}{2}$ یا $\frac{1}{4}$ دارد و T_C

زمان چپ است آنگاه تعداد $\left(\frac{NT_C}{2\Delta T_C} = \frac{N}{2\Delta}\right)$ فاز مختلف وجود دارد که باید بررسی شوند سیگنال‌های ناشی از مولد

PN با فازهای مختلف در سیگنال ورودی ضرب می‌شوند و از طریق محاسبه همبستگی آنها، خروجی انتگرال‌گیرها با یکدیگر مقایسه شده و مسیری که بیشترین مقدار را دارد انتخاب می‌شود، همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است، در هر قسمت آشکارسازی ناهمفاز یک همبستگی نگار (I-Q) وجود دارد، متوسط زمان رهیابی پارامتر مناسبی است که کیفیت سیستم رهیابی را تعیین می‌کند. برای روش جستجوی موازی اگر فرض کنیم $\Delta = \frac{1}{2}$ باشد و اگر

تصمیم‌گیری صحیح باشد زمان رهیابی T' خواهد و اگر ناصحیح باشد، T_P ثانیه زمان تلف می‌شود و P_d احتمال تصمیم‌گیری صحیح باشد آنگاه زمان متوسط رهیابی برابر T_{acq} است [۱].

$$T_{acq} = \frac{T' + T_P}{P_d} - T_P \quad (5)$$

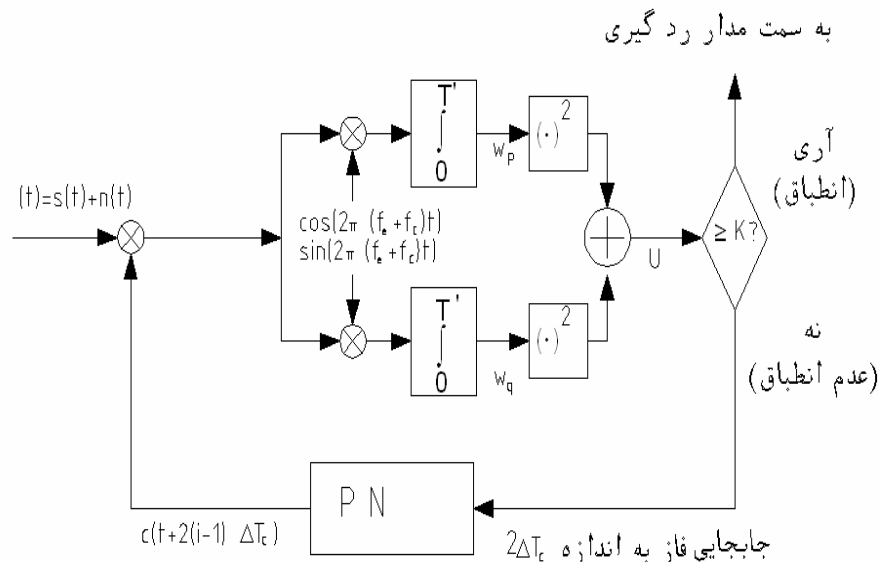


شکل ۲ - سیستم رهیابی موازی با اقامت ثابت و آشکارسازی ناهمفاز

۳-۲- روش جستجوی سری:

روش جستجوی سری در هر قدم یک فاز را بررسی می‌کند و انطباق آن را با فاز ورودی می‌سنجد که اگر فاز مناسب باشد مدار ردگیری فعال می‌شود در غیر اینصورت فاز مولد دنباله PN به اندازه $2\Delta T_c$ تغییر کرده و فرآیند فوق تکرار می‌شود. (شکل 4) که در صورت عدم انطباق فاز و تکرار چندمرتبه‌ای فرآیند، زمان خیلی بیشتری نسبت به روش قبل می‌گیرد اما در عوض به سخت‌افزار کمتری احتیاج دارد. متوسط زمان رهیابی برای این روش، اگر احتمال آنکه فاز دنباله PN بطور صحیح بدست آید را با P_d و احتمال آنکه یک فاز اشتباه به جای فاز صحیح انتخاب گردد را با P_{fa} نشان می‌دهیم و L تعداد فازها باشد و $\Delta = \frac{1}{2}$ و T_P زمان تلف شده باشد برابر است با:

$$T_{acq} = L \frac{(1 - 0.5P_d)}{P_d} \left[T' + \frac{P_{fa}}{(1 - P_{fa})^2} T_P \right] \quad (6)$$

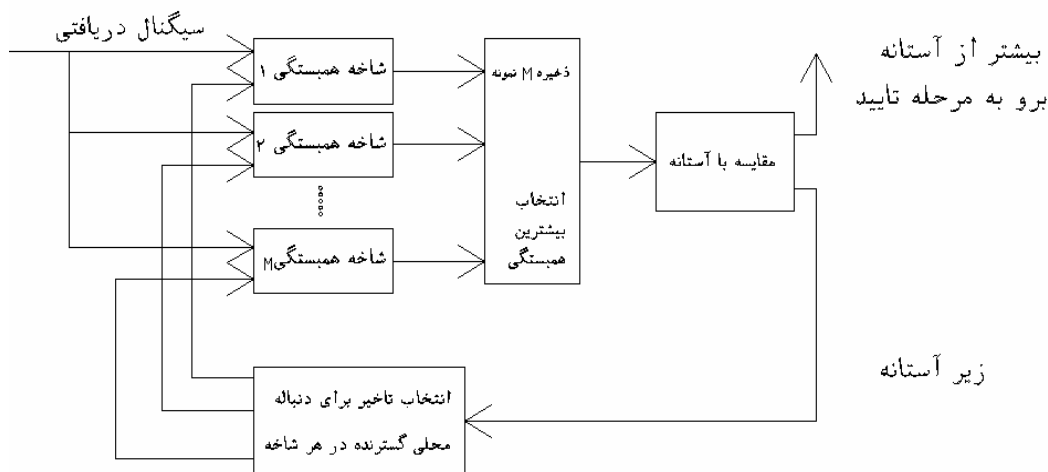


شکل ۳ - سیستم رهیابی سری با اقامت ثابت و آشکارسازی ناهمفاز

۳-۳- روش جستجوی هیبرید:

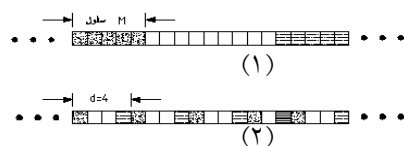
در روش جستجوی هیبرید اگر کل حالت‌های ممکن برای محدوده فاز سیگنال دریافت شده در آشکارسازی کد PN برابر q باشد، این q حالت به d گروه تقسیم می‌شوند که هر گروه شامل $M = \frac{q}{d}$ قسمت می‌باشد. به هر یک از این قسمت‌ها یک سلول فاز می‌گوییم، ساختار کلی گیرنده در سیستم رهیابی هیبرید در شکل (۴) نشان داده شده است هر گروه متشکل از M سلول به طور موازی تست می‌شوند، از میان سلول‌های هر گروه سلولی که سیگنال PN ناشی از آن با سیگنال دریافتی بیشترین همبستگی را دارد انتخاب شده و با یک مقدار آستانه مقایسه می‌شود اگر از مقدار آستانه بیشتر باشد، فرآیند جستجو وارد مرحله‌ی تأیید^۷ می‌شود، در غیر اینصورت اگر بیشترین مقدار همبستگی از مقدار آستانه کمتر باشد گروه دیگر شامل M سلول به موازی شروع به جستجو می‌کنند تعداد کل سلول‌های فاز ممکن

(q) به روشهای گوناگون می‌توانند به گروه‌های M تایی تقسیم شوند. D گروه می‌توانند به صورت بلوک‌های M تایی پشت سر هم قرار بگیرند به طوری که در ابتدا گروه ۱ شامل M سلول فاز اول، بعد از آن گروه ۲ و به همین ترتیب تقسیم‌بندی ادامه می‌یابد. (شکل ۵-۱).



شکل ۴ - ساختار کلی گیرنده سیستم ره‌یابی هیبرید

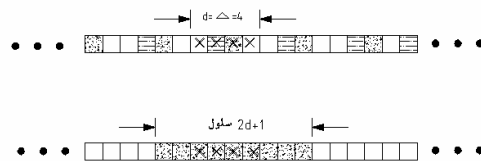
روش دیگر قرار دادن در یک گروه این است که سلولهایی را که در مکانهای مضرب صحیحی از d قرار دارند به عنوان یک گروه انتخاب کنیم. بعنوان نمونه اولین گروه M سلولی شامل سلولهای $1+nd$ است که n مقادیر ۰ تا $M-1$ را اختیار می‌کند. گروه دوم شامل سلولهای $2+nd$ و به همین ترتیب بقیه گروه‌ها انتخاب می‌شوند در شکل (۵-۲) به ازای $d=4$ نشان داده شده است.



شکل ۵ : ۱) M سلول به صورت بلوکی انتخاب می‌شوند.
۲) سلولهای با مضارب صحیح d انتخاب می‌شوند.

اگر محدوده موردنظر برای ره‌یابی برابر عرض چپ (T_c) باشد، چون عرض سلول فاز کمتر از چپ کد P_N است چندین سلول وجود دارند که نشانگر محدوده‌ی فاز صحیح سیگنال ورودی هستند. این سلولها، سلولهای H_1

نامیده می‌شوند و همه سلولهای فاز دیگر سلولهای H_0 نامیده می‌شوند. در سیستمهای طیف گسترده، سیگنالهای چندمسیره‌ای که تأخیر نسبی آنها کمتر از عرض چپ است غیر قابل تفکیک هستند، فرض کنید تعداد زیادی از سیگنالهای مسیرهای مختلف در فاصله‌ی زمانی T_C ثانیه به گیرنده می‌رسند، این سیگنالها در گیرنده با هم جمع می‌شوند و موجب محو شدن سیگنال اصلی می‌شوند. به خاطر وجود این محوشدگی چندمسیره^۹ و عرض سلول که کمتر از چپ کد PN است، چندین سلول H_1 وجود دارند که به طور صحیح سیگنال دریافت شده را آشکار می‌کنند، تعداد سلولهای H_1 موجود در q سلول ممکن با Δ مشخص شده و برای سادگی فرض می‌شود که Δ در گیرنده یک مقدار معلوم است. مقدار d در جستجوی هیبرید می‌تواند برابر Δ تنظیم شود، همانطور که در شکل (۶) نشان داده شده است گروه‌های M سلولی باید طوری انتخاب شوند که فقط شامل یک سلول H_1 باشند به طوری که این سلول در جستجوی موازی بیشترین مقدار همبستگی را خواهد داشت. اگر مقدار همبستگی محاسبه شده از مقدار آستانه بیشتر باشد، الگوریتم جستجو وارد مرحله تأیید می‌شود در این مرحله سیگنال ناشی از سلول انتخاب شده دوباره آشکارسازی شده و با یک سطح منطقی تصمیم‌گیری مقایسه می‌شود، اگر مقدار همبستگی در این مرحله، از مقدار این سطح منطق تصمیم‌گیری بیشتر باشد، محدوده ره‌یابی مشخص شده و جستجو متوقف می‌شود در غیر اینصورت فرآیند به مرحله جستجوی اولیه برمی‌گردد و M سلول بعدی را جستجو می‌کند [۲].



شکل ۶ - هر گروه از M سلول شامل یک سلول H_1 است. (\times = سلول H_1)

۴-مقایسه روشهای ره‌یابی:

در سیستمهای طیف گسترده دنباله مستقیم CDMA، این که روش جستجوی سری یا روش جستجوی موازی برابر ره‌یابی کد PN استفاده گردد بستگی به معیار طراحی سیستم دارد، روش ره‌یابی موازی بطور همزمان همه فازهای کدهای ممکن را تست می‌کند بنابراین تا حد زیادی زمان ره‌یابی را کاهش می‌دهد اما پیچیدگی سخت‌افزاری به طور چشمگیری افزایش می‌یابد که باعث افزایش قیمت گیرنده می‌شود بطوریکه حتی ساخت آن را غیر عملی می‌کند، از طرف دیگر روش جستجوی سری به پیچیدگی سخت‌افزاری کمتری در عوض کاهش سرعت ره‌یابی دست پیدا می‌کند، بنابراین یک نوع بده، بستان بین سادگی سخت‌افزاری جستجوی سری و زمان ره‌یابی بهبودیافته روش موازی وجود دارد به منظور ایجاد سازش بین مزیت‌هایی که این دو سیستم دارند، روش جستجوی هیبرید که ترکیبی از روشهای سری و موازی است پیشنهاد می‌شود. این روش ساختار سخت‌افزاری بسیار ساده‌تری در مقایسه با روش جستجوی موازی دارد و در یک زمان مشابه به کارآیی بهتری نسبت به روش سری دست پیدا می‌کند [۱ و ۴و ۶].

۵- نتیجه گیری:

با توجه به رشد روزافزون سیستم‌های مخابراتی طیف گسترده CDMA (DS/SS) و کارایی بهتر آنها نسبت به دیگر روشهای مالتی پلکس برقراری ارتباط در این سیستمها مستلزم یک سنکرون سازی بین فرستنده و گیرنده می باشد. مهم ترین قسمت سنکرون سازی فرآیند رهیابی می باشد که منجر به انطباق فاز سیگنال ورودی و سیگنال کد PN محلی می باشد، برای فرآیند رهیابی روشهای گوناگونی پیشنهاد شده است. که بنا به معیارهای طراحی سیستم که یکی از پیچیدگی سخت افزاری و دیگری زمان مورد استفاده می باشد هر کدام می توانند به کار روند، روش جستجوی موازی سخت افزار پیچیده تر اما در عوض زمان کمتری نیاز دارد. روش سری سخت افزار ساده تری احتیاج دارد اما زمان بیشتری در حین فرآیند رهیابی صرف می شود، در نهایت روش هیبرید با ترکیب روشهای سری و موازی می تواند به سخت افزار ساده تر و زمان آشکارسازی کم دست پیدا کند.

۶- فهرست مراجع :

- [1] A.W.Lam, S. Tantaratana, theory and applications of spread spectrum systems, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 1997
- [2] A.Vandermeer, and R.L.pathirana, "performance Analysis of a Hybrid acquisition system for DS/SS", IEEE tencon-2003, proc. Of the conference on convergent technologies for the Asia pacific, October 15-17 2003, Bangalore, India.
- [3] W.Zhuang, "Noncoherent hybrid parallel PN code acquisition for CDMA mobile communications", proc. of the International conference on wireless communications, calagry, 1995
- [4] B.J.Kang and I.K.Lee, "A performance comparison of code acquisition Techniques in DS-CDMA systems", Wireless Personal Communication, Vol. 25, pp.163-176, 2003
- [5] H.S.chang, Y.W.park, "DS-SS code Acquisition Based on simultaneous and verification", IEEE Transaction on communications, vol. 48, No. 6, June 2000
- [6] J.G.proakis, Digital communications. MC Graw-Hill, 2nd ed., 1989