



روشی بهبود یافته برای جایابی سلولهای استاندارد در مدارات مجتمع پرتراکم با ترکیب روشهای تصادفی و تکنیکهای بهینه‌سازی ریاضی

علی جهانیان^۱، مرتضی صاحب الزمانی^۲، اسماعیل خرم^۱

^۱ دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
^۲ دانشکده ریاضی و انفورماتیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

در سالیان اخیر بدلیل بالا رفتن ارزش منابع مورد استفاده و نیز بزرگ شدن اندازه مسائل، بهینه سازی ریاضی بعنوان یک نیاز جدی در صنایع مطرح شده است و روشهای بهینه سازی ریاضی در بسیاری از کاربردهای نظری و کاربردی جایگاه مهمی یافته‌اند. مساله جایابی در طراحی مدارهای مجتمع دیجیتال عبارت است از یافتن بهترین محل برای قرار دادن اجزای الکترونیکی روی یک تراشه بنحوی که یک یا ترکیبی از چند معیار در قالب یک تابع هدف حداقل شوند. جایابی بروش سلول استاندارد نوع خاصی از جایابی است که در آن ارتفاع سلولها ثابت بوده و سلولها در سطرهاى مجزا جایابی می‌شوند و هر سلول را نمی‌توان به‌صورتی، در هر جای دلخواه و با هر چرخش دلخواه جایابی نمود. با توجه به بزرگی ابعاد مسایل جایابی در VLSI استفاده از روشهای تحلیلی ناممکن است و عمدتاً از روشهای تقریبی و ابتکاری برای حل این مسایل استفاده می‌گردد که کیفیت پاسخ آنها از روشهای ریاضی کمتر است. در این مقاله روشی مرکب از روشهای تحلیلی با استفاده از بهینه‌سازی ریاضی و روشهای تقریبی برای این مساله ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که کیفیت جواب بهتر از روشهای کاملاً تقریبی است و افزایش زمان محاسبات هم در حد قابل قبولی است. چنانکه در آزمایشات انجام شده دیده می‌شود با استفاده از روش ارائه شده مجموع طول سیم بطور متوسط ۲۸/۶٪ کاهش داشته و زمان محاسبات نیز با نسبت بسیار کمی (بطور متوسط ۱/۲٪) افزایش یافته است.

واژه های کلیدی: بهینه‌سازی ریاضی، جایابی سلولهای استاندارد، بهینه‌سازی با محدودیت

۱. مقدمه

در صنایع مطرح شده است و روشهای بهینه سازی ریاضی در بسیاری از کاربردهای نظری و کاربردی جایگاه مهمی یافته است. موضوع بهینه سازی ریاضی موضوع جدیدی نیست و بسیاری از کارهای این زمینه به زمان نیوتن و حتی قبل از آن باز می‌گردد، با وجود این چنانکه گفته شد نیاز به آن روز بروز جدی‌تر می‌شود.

بهینه سازی در بسیاری از مسایل شاخه‌های مختلف صنایع از جمله صنایع حمل و نقل، ترافیک، مدیریت صنعتی و ... کاربرد دارد و در سالیان اخیر بدلیل بالا رفتن ارزش منابع مورد استفاده این روند افزایشی داشته است و بهینه سازی بعنوان یک نیاز جدی

الگوریتم مناسبی ارائه شده که از ایده حجیم‌سازی^۴ استفاده شده است. بدین ترتیب که در ابتدا یک چینش تصادفی از طرح ایجاد می‌نماید و سپس سعی می‌کند سلولهایی که ارتباط زیادی دارند را به هم نزدیک کند. این الگوریتم نتایج بسیار مناسبی دارد ولی برای مدارهای بزرگ و نیز مدارهایی که بلوکهای غیر استاندارد دارند، مناسب نیست. در [۶] هم از یک ساختار سلسله مراتبی استفاده شده و برپایه آن سعی شده کارایی طرح بهبود یابد. کیفیت این الگوریتم از نظر طول سیم کمتر از روش‌های قبل است، ولی از نظر کارایی نتایج خوبی داشته است.

در این مقاله روشی ترکیبی از روشهای برپایه سردسازی شبیه‌سازی شده و روشهای ریاضی ارائه گردیده است که بتوان تعادل مناسبتری از سرعت روش سردسازی شبیه‌سازی شده و کیفیت روشهای ریاضی بدست آورد. در بخش ۲ مساله جایابی سلولها در مدارات الکترونیک مجتمع به اجمال بررسی شده است، در بخش ۳ رویکردهای ریاضی به مساله جایابی بررسی شده است. در بخش ۴ یک روش جدید برای حل این مشکل ارائه شده، در بخش ۵ هم نتایج آزمایشات بررسی و تحلیل شده است و در نهایت در فصل ۶ نتیجه‌گیری بحث ارائه شده است.

۳. مساله جایابی اجزای مدارات مجتمع

مساله جایابی در طراحی مدارهای مجتمع دیجیتال بصورت زیر تعریف می‌شود. فرض کنید N عدد سلول مستطیلی شکل با عرض و ارتفاع (w_i, h_i) موجود است و L ماتریسی دودویی است که اگر اتصالی بین سلول i و j باشد $L(i, j)$ برابر یک و در غیر اینصورت برابر صفر است. هدف یافتن بهترین محل برای سلولهاست X و Y (مرکز سلولها) بطوری که:

- سلولها روی هم افتادگی نداشته باشند.
- فضای اشغال شده توسط سلولها حداقل باشد.
- تابع معیار تعریف شده نیز حداقل شود که این تابع معیار فاصله سلولهایی است که اتصالات زیادی با هم دارند. در ساده‌ترین حالت می‌توان فاصله اقلیدسی را در نظر گرفت.

برای کاستن از پیچیدگی الگوریتم نوعی دیگر از جایابی تعریف شده است که جایابی سلول استاندارد^۵ نامیده می‌شود. در این جایابی دو ساده‌سازی انجام شده است؛ اول آنکه ارتفاع سلولها ثابت و از پیش تعیین شده است و دوم آنکه سلولها در سطرها مجزا

در طراحی مدارهای مجتمع دیجیتال مسایلی چون جایابی سلولها و مسیریابی آنها و ... از روشهای بهینه‌سازی بفرآوانی استفاده می‌شود و با توجه به حجم بزرگ این مسایل عمدتاً رویکرد به سمت راه‌حلهای ابتکاری بوده است. در این مقاله مساله جایابی بروش سلول استاندارد با استفاده از روشی مرکب از راه‌حلهای تحلیلی و ابتکاری حل شده است.

۲. پیشینه کار

در سالهای اخیر تلاش بسیاری برای ارائه الگوریتمهای مناسب برای جایابی مدارهای بزرگ ارائه شده است. روش‌های ارائه شده را می‌توان به دو دسته روش‌های ریاضی و روشهای ابتکاری تقسیم نمود. مساله جایابی با دید ریاضی در مقالات [۱] و [۲] بررسی شده و مدل‌های ریاضی آنها ارائه شده است. نتایج ارائه شده نشان‌دهند این است که این مدلها دقت بالایی دارند ولی به دلیل پیچیدگی بالای محاسباتی، برای مدارات بزرگ کارایی لازم را ندارند. در دهه اخیر ابزارهای جایابی با روشهای ابتکاری بسیاری ارائه شده‌اند. عمدتاً این روش‌ها برای مدارهای بزرگ کارایی بهتری دارند ولی از دقت کمتری نسبت به روش‌های ریاضی برخوردار هستند. در [۳] یک ابزار جایابی سلسله مراتبی ارائه شده که از ترکیب افزایش دوتایی تکراری و الگوریتم سردسازی شبیه‌سازی شده^۱ استفاده می‌نماید. بدین صورت که در هر مرحله، طرح را به چهار بخش تقسیم می‌نماید و با اجرای یک الگوریتم سردسازی شبیه‌سازی شده، یک چینش مناسب برای ظرف‌های ایجاد شده می‌یابد، به نحوی که مجموع طول سیم در طرح حداقل گردد. این روند تا جایی تکرار می‌گردد که تعداد سلولهای هر ظرف از یک مقدار آستانه‌ای کمتر شود. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که این روش کیفیت مناسبی از نظر مجموع طول سیم دارد، اما برای مدارهای بزرگ بسیار زمان‌بر است. در [۴] از الگوریتمی شبیه به [۳] استفاده شده است ولی دو تفاوت عمده دارد. اول آنکه در هر مرحله، طرح را به دو ظرف تقسیم می‌نماید و دوم آنکه به‌جای سردسازی شبیه‌سازی شده در هر مرحله از یک الگوریتم انتشار پایانه‌ها^۲ استفاده می‌کند. این روش کیفیت الگوریتم [۳] را ندارد ولی برای مدارهای بزرگ بسیار سریع‌تر عمل می‌کند. در [۵]

¹ Simulated Annealing (SA)

² Bin

³ Terminal propagation

⁴ Coarsening

⁵ Standard-Cell Placement

تراشه. حال سعی می‌کنیم مساله را بصورت رسمی‌تر تعریف کنیم؛ فرض کنید مجموعه n قلم مستطیلی شکل بصورت $J = \{1, \dots, n\}$ که هر کدام دارای عرض w_j و ارتفاع h_j باشد و نیز فرض کنید که همه عرضها و ارتفاعها مثبت باشند.

- در مساله 2BP تعداد نامحدودی مستطیل با عرض w و ارتفاع h وجود دارد که قرار است در حداقل تعداد جعبه قرار گیرند.

- در مساله 2SP یکسری اقلام با پهنا w و ارتفاع نامحدود وجود دارد و هدف آن است که همه آنها در حداقل ارتفاع قرار گیرند.

فرض کنید A_j یک بردار ستونی دودویی باشد که هر عنصر آن بصورت a_{ij} است که مساوی 1 تعریف می‌شود اگر عنصر i ام جزو جعبه j ام باشد وگرنه صفر است. بدین ترتیب تمام عنصرها با ماتریس A قابل نمایش است. با این تعاریف مساله عبارتست از:

$$\min \sum_{j=1}^M x_j$$

Subject to

$$\sum_{j=1}^M a_{ij} \cdot x_j = 1 \quad (i = 1, \dots, n), \quad ()$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad (j = 1, \dots, M)$$

چون تعداد ستونها از ابتدا مشخص نیست باید بطور دینامیک بتوان تعداد ستونها را در روند اجرای الگوریتم تعیین نمود. مبدعان این روش این مساله را با روش Dynamic programming حل نمودند [1] و [2].

حالت خاصی از مساله فوق که در آن اقلام بصورت لایه‌ای در سطوح قرار می‌گیرند مطرح شده که حل آن ساده‌تر از مساله اصلی است. در این روش اقلام از کف جعبه بصورت لایه‌های مجزا چیده می‌شوند. بدین صورت که اولین لایه کف جعبه چیده می‌شود و لایه بعدی از بالای بلندترین قلم لای اول چیده می‌شود و به همین ترتیب کار ادامه می‌یابد. نمونه‌ای از این روش در شکل 1 دیده می‌شود.

برای مدلسازی این روش مفروضات زیر بدون کاستن از کلیت مساله قابل قبول است:

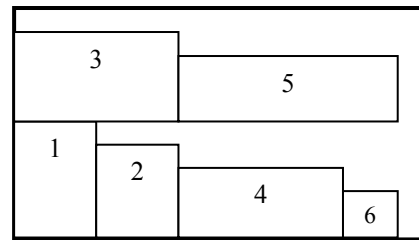
- در هر لایه قلم سمت چپ بلندترین قلم است.

- در هر جعبه گروه کف از بقیه لایه‌ها بلندتر هستند.

- اقلام با ترتیبی نافزاینده براساس ارتفاع مرتب و دوباره شماره گذاری شده‌اند.

جایابی می‌شوند و هر سلول را نمی‌توان بهر صورتی، در هر جای دلخواه و با هر چرخش دلخواه جایابی نمود [7]. در این نوع جایابی هدف جای دادن سلولهاست بنحوی که سه شرط فوق بعلاوه دو محدودیت ذکر شده برقرار باشند.

مسایل بهینه سازی به دو دسته بدون محدودیت و با محدودیت تقسیم می‌شود. در مسایل بدون محدودیت، هدف یافتن جواب بهینه برای یک تابع هدف می‌باشد که روشهای مانند روش گرادیان، نیوتن و شبه نیوتن برای حل آن ارائه شده‌اند. در مسایل با محدودیت در کنار تابع هدف یکسری محدودیت هم وجود دارد و هدف یافتن بهترین جواب در حوزه‌ای است که محدودیتها صادق هستند. مسایل با محدودیت در حالت کلی و با شرایط ایده‌آل با استفاده از فرمول لاگرانژ تبدیل به مسایل بدون محدودیت شده و سپس با استفاده از روشهای ارائه شده حل می‌گردند. این مسایل در کاربردهای صنعتی که محدودیتهای فیزیکی وجود دارد بسیار به چشم می‌خورند.



شکل 1. نمونه‌ای از جایگیری سطحی

4. حل مساله جایابی با استفاده از روش جایدهی جعبه‌ها

هدف از این مساله جای دادن همه اقلام مورد نیاز در کمترین فضای ممکن است. نمونه یک بعدی آن نحوه برش میله‌های فلزی با کمترین پرت است که $1BP^6$ نامیده می‌شود. کاربرد دو بعدی آن جای دادن چند مستطیل در یک مستطیل بزرگتر است که $2BP^7$ نامیده می‌شود. در بسیاری از کاربردها مثل کاغذ و پارچه که واحد فضای آنها توپ است مساله را $2SP^8$ می‌نامند. حالتی که هم فرم ساده‌تری از مساله کلی است و هم در صنعت کاربرد زیادی دارد حالتی است که در آن اقلام همیشه بصورت ایستاده یا همیشه بصورت خوابیده هستند و امکان چرخش آنها وجود ندارد، مثل برش چوب، صفح بندی روزنامه و جایابی اجزای الکترونیکی روی

⁶ 1-D Bin Packing

⁷ 2-D Bin Packing

⁸ 2-D Strip Packing

ایجاد می‌گردد و سپس الگوریتم تکراری آغاز می‌گردد. در هر تکرار جای دو ماجول که بصورت تصادف انتخاب شده‌اند با هم عوض می‌شود. اگر هزینه کلی بهبود پیدا کرد که این تغییر پذیرفته می‌شود، در غیر اینصورت با یک احتمال تصادفی وابسته به T پذیرفته می‌شود. احتمال T بعنوان دمای سیستم در نظر گرفته می‌شود. این پارامتر در تکرارهای اولیه ضریب بزرگی است که با پیشرفته الگوریتم بتدریج کوچک می‌شود. بدین ترتیب در ابتدای کار الگوریتم، احتمال پذیرفته شدن تعویضهای بد بیشتر است و به سیستم اجازه می‌دهد کل فضای جستجو را بکاود تا در نقاط کمینه محلی گرفتار نشود. در مراحل نهایی الگوریتم که T خیلی کوچک می‌شود، تنها تعویضهای خوب پذیرفته می‌شود و فضای جستجو محدود می‌گردد تا الگوریتم به یک جواب تقریباً خوب همگرا شود. در جایابی روش سلولهای استاندارد دو نکته قابل توجه وجود دارد:

- ماجولها در سطرهای مشخص جای می‌گیرند، مسلماً تعداد ماجولهای هر سطر خیلی کمتر از تعداد کل ماجولهاست.
- در مراحل آخر الگوریتم سردسازی شبیه‌سازی شده تعویضها بسیار محدودتر از مراحل اولیه الگوریتم شده‌اند.

روشی که برای انجام عمل جایابی سلولهای استاندارد در این مقاله پیشنهاد شده شامل دو بخش است؛ در مرحله نخست با استفاده از الگوریتم سردسازی شبیه‌سازی شده یک جایابی نسبتاً خوب ایجاد می‌گردد و در مرحله دوم با بکارگیری روشهای بهینه-سازی ریاضی برای هر سطر بهترین جایابی ایجاد می‌شود. مسلماً در مرحله دوم تغییرات تنها در داخل سطر خواهد بود. در ادامه مقاله در ابتدا ورودیهای مساله تشریح خواهند شد و سپس هر کدام از این مراحل بتفصیل شرح داده خواهد شد.

ورودی مساله: ورودی شامل سه بردار X_i شامل مولفه‌های طول مختصات مرکز سلولها، بردار Y_i شامل مولفه عرض مختصات مرکز سلولها و بردار W_i عرض سلولها و یک ماتریس L است که یک ماتریس دودویی است و درایه $L(i,j)$ برابر یک است اگر بین ماجول i و j ارتباط وجود داشته باشد و در غیر اینصورت صفر است

مرحله اول جایابی: در گام اول یک جایابی اولیه تشکیل و سپس الگوریتم سردسازی شبیه‌سازی شده روی آن اجرا می‌گردد که تابع هدف آن، فاصله اقلیدسی بین سلولهایی که با هم اتصال دارند و ضریبی از بالازدگی یا پایین رفتگی طول سطر از مقدار میانگین برای کنترل طول سطرها در نظر گرفته شده است. هر بار جای دو ماجول عوض می‌شود. اگر بهبود هزینه کلی ($\Delta Cost$)

برای مدلسازی این فرآیند از سطوح پیانسیل استفاده شده است. فرض کنید n سطح پتانسیل وجود دارد که A_m آنها با قلم A_m که آن سطح را شروع کرده است مشخص می‌شود و n جعبه داریم که جعبه k ام با سطح k ام که آن را آغاز کرده مشخص می‌شود. حال فرض کنید دو متغیر دودویی بنام y_j و q_k وجود دارند که y_j یک متغیر دودویی باشد که نشان می‌دهد آیا قلم A_m سطح i را آغاز نموده است یا نه؟ و q_k هم نشان می‌دهد که آیا سطح k ام جعبه k ام را آغاز نموده است یا نه؟ بدین صورت مساله بصورت زیر مدل می‌شود:

$$\min \sum_{k=1}^n q_k$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^{j-1} x_{ij} + y_j = 1 \quad (j=1, \dots, n)$$

$$\sum_{j=i+1}^n w_j x_{ij} \leq (W - w_i) y_i \quad (i=1, \dots, n-1) \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^{i-1} z_{ki} + q_i = y_i \quad (i=1, \dots, n)$$

$$\sum_{i=k+1}^n h_i z_{ki} \leq (H - h_k) q_k \quad (k=1, \dots, n-1)$$

$$y_i, x_{ij}, q_k, z_{ki} \in \{0,1\} \quad \forall i, j, k$$

که W حداکثر پهنای سطرها و H حداکثر ارتفاع است. آزمایشات محاسباتی نشان می‌دهد که مدل فوق در عمل قابل اجراست، اما حل تحلیلی آن حتی برای مسایلی با اندازه متوسط (فضای بیش از سه بعد) بسیار زمانبر و مسلماً استفاده از روش کاملاً تحلیلی در مسایل کاربردی ناممکن است [۱]. در [۱] و [۲] روشهایی برای حل تقریبی این مسایل ارائه شده‌اند.

۵. روش پیشنهادی (SABP)

با توجه به بزرگی ابعاد مسایل جایابی در VLSI استفاده از روشهای کاملاً تحلیلی ناممکن است و عمدتاً از روشهای تقریبی و ابتکاری برای حل این مسایل استفاده می‌گردد. در این مقاله روشی مرکب از روشهای تحلیلی و تقریبی برای این مساله ارائه شده است و نتایج نشان می‌دهد که کیفیت جواب بهتر از روشهای کاملاً تقریبی است و میزان افزایش زمان محاسبات هم در محدوده مناسبی است.

سرد شدن شبیه‌سازی شده یکی از روشهای بسیار معمول در مسایل جایابی بشمار می‌رود. این روش بصورت تکراری عمل می‌کند عملکرد آن بدین صورت است که در ابتدا یک جایابی اولیه

روند انجام بهینه‌سازی بدین صورت است که برای همه سطرها بهینه‌سازی فوق انجام می‌گیرد و این روند می‌تواند تکرار هم شود. نکته قابل توجه آن است که این بهینه‌ساز مانع روی هم افتادگی سلولها را نمی‌گیرد و می‌بایست با یک پس‌پردازش جای سلولهای داخل سطر مرتب شود. این مرتب‌سازی نتیجه بهینه‌سازی را خراب نخواهد نمود زیرا با پس‌پردازش ترتیب سلولها تغییر نخواهد کرد.

۶. بررسی نتایج بدست آمده

برای آزمایش الگوریتم SABP، این الگوریتم با استفاده از ابزار Matlab روی یک کامپیوتر Intel PIII 800 MHZ با ۵۱۲ مگابایت حافظه پیاده‌سازی و آزمایش شده است. بدین منظور، ۱۰ نمونه از مجموعه مدارهای IWLS بصورت تصادفی [۱۰] انتخاب شده‌اند. البته این ۱۰ مدار بطوری انتخاب شده‌اند که طیف وسیعی از مدارها با اندازه مختلف را شامل شوند. جدول ۱ مشخصات مدارهای آزمون مورد استفاده را نشان می‌دهد.

روش انجام تست بدین صورت بوده است که برای هر مدار ابتدا الگوریتم سردسازی شبیه‌سازی شده (SA) بعنوان الگوریتم مرحله اول اجرا شده است و سپس الگوریتم SABP روی مدار حاصل از الگوریتم مرحله اول اجرا شده است و در هر مرحله میزان بهبود کیفیت و زمان محاسبات محاسبه شده است. مساله روی چهار مدار ورودی اجرا شده و نتایج در جدول ۲ ثبت شده‌اند. جدول ۲ گویای میزان بهبود دو مرحله SA و مرحله SABP از نظر مجموع طول سیم طرح‌های مختلف است. این معیار معمولاً مهمترین پارامتر برای ابزار جایابی به شمار می‌رود، زیرا مجموع طول سیم در کارای طرح و قابلیت مسیریاب طرح تأثیر مستقیم دارد.

چنانکه در جدول ۲ دیده می‌شود، میزان بهبود ناشی از اجرای الگوریتم SA روی مدارهای آزمون بطور متوسط برابر ۲۲/۷٪ و میزان بهبود ناشی از اجرای الگوریتم SABP روی خروجی SA بطور متوسط برابر ۲۸/۶٪ بوده است. بدین معنا که بهبود نهایی حاصل از هر دو مرحله برابر با ۵۱/۳٪ بوده است. درضمن نتایج این جدول نشان دهنده آن است که در حالت کلی با بزرگ شدن مدارها، میزان بهبود ناشی از SABP بیشتر می‌شود. علت این امر آن است که با بزرگ شدن مدارها، برای آن که زمان محاسبات SA خیلی زیاد نشود، باید از تعداد تکرارها کاست که همین موضوع کیفیت SA برای مدارهای بزرگ را کاهش می‌دهد.

مثبت باشد سیستم بهبود یافت که تعویض انجام می‌گیرد و در غیر اینصورت تغییر با احتمال $e^{-\Delta Cost/T}$ پذیرفته می‌شود. بدین صورت که یک عدد تصادفی بین صفر و یک با توزیع احتمال یکنواخت تولید می‌شود. اگر عدد از مقدار فوق بزرگتر باشد تعویض پذیرفته می‌شود، در غیر اینصورت رد می‌شود. این روند با کم شدن پارامتر T ادامه می‌یابد تا به دمای نهایی برسیم و الگوریتم ختم می‌گردد [۸] و [۹]. نمای کلی این الگوریتم در شبه کد شکل ۲ دیده می‌شود.

مرحله دوم جایابی: در این مرحله یک جایابی نسبتاً خوب از مرحله اول وجود دارد و هدف آن است که با استفاده از بهینه‌سازی ریاضی کیفیت جایابی درون سطرها بهبود یابد. این مساله بصورت رابطه بهینه‌سازی زیر فرموله شده است.

$$f = \min \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N \{(x(i) - x(j))^2 + (y(i) - y(j))^2\} \cdot L(i, j)$$

Subject to

$$\sum_{i=n_1}^{n_2} x(i) \geq W_{row} \cdot Max_{row}$$

$$x(i) \leq \sum_{j=n_1}^{n_2} W(j) \quad i = n_1, \dots, n_2$$

که در آن Wrow عرض سطر است که از ماجول n1 تا ماجول n2 تشکیل می‌شود و Maxrow اندازه عریضترین سلول در این سطر است. x(i) مولفه طول مختصات مرکز سلول iام، y(i) مولفه طول مختصات مرکز سلول iام و W(i) عرض سلول iام است. n1 شماره سلولی که اولین سلول سطر جاری است و n2 شماره سلولی می‌باشد که آخرین ماجول سطر جاری است. هدف یافتن بردار x است بنحوی که مقدار تابع f حداقل شود.

Simulated Annealing Placement Algorithm

```

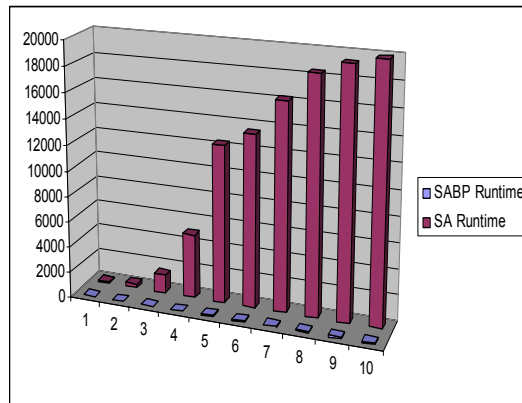
1: T = INIT_TEMP
2: while (T > FINAL_TEMP)
3:   while (inner_criteria=FALSE)
4:     new_place = PERTURBE(Place);
5:     if (ΔCost < 0)
6:       Place = new_place;
7:     else if ( Random(0,1) > exp(ΔCost/T) )
8:       Place = new_place;
9:     end if;
10:  end while;
11:  T = Update();
12: end while;
```

شکل ۲. شبه کد الگوریتم پایه Simulated Annealing

برای روش‌های معمولی جایابی که از روش SA استفاده می‌شود این روش می‌تواند بعنوان یک پس‌پردازش بکار رود. در روش‌های جایابی بر اساس تقسیم‌های متوالی که مدار به بخش‌های کوچکتر تقسیم می‌گردد، این الگوریتم کاراتر خواهد بود.

مراجع

- [1] A. Lodi, S. Martello, D.Vigo, Recent advances on two-dimensional bin packing problems, In *Discrete Applied Mathematics* (2002) 379–396
- [2] A. Lodi, S. Martello, M. Monaci, Two-dimensional packing problems: A survey, In *European Journal of Operational Research* (2002) 241–252
- [3] T. Taghavi, X. Yang, B.K. Choi, Dragon2005: large scale mixed size placement tool, In *Proc. International Symposium on Physical Design* (2005)
- [4] J.A. Roy, D.A. Papa, S.N. Adya, Capo: robust and scalable open-source min-cut floorplanner, In *Proc. International Symposium on Physical Design* (2005)
- [5] T.F. Chan, J. Cong, M. Romesis, J.R. Shinneri, K. Sze, M. Xie, mPL6: A Robust Multilevel Mixed-Size Placement Engine, In *Proc. International Symposium on Physical Design* (2005)
- [6] A.R. Agnihorti, S. Ono, P.H. Madden, Recursive bisection placement: Feng Shui 5.0 implementation details, In *Proc. International Symposium on Physical Design* (2005)
- [7] N. Shwervani, Algorithms for VLSI Physical Design Automation, Kluwer Academic Publisher, 3rd Edition, (2001)
- [8] M. Wang, X. Yang, M. Sarrafzadeh, Dragon2000: Standard-cell Placement Tool for Large Industry Circuits, In *Proc. International Conference on Computer-Aided Design* (2000)
- [9] X. Yang, B.K. Choi, M. Sarrafzadeh, A Standard-Cell Placement Tool for Designs with High Row Utilization, In *Proc. International Conference on Computer Design* (2002)
- [10] IWLS Benchmarks, Available on <<http://iwls.org/iwls2005/benchmarks.html>>, 2005.
- [11] Crete Library, Available on <<http://www.cadence.com>>, 2006.



شکل ۳. مقایسه زمان محاسبات مرحله SA و SABP

روش‌های تقریبی و ابتکاری برای حل این مسایل استفاده می‌گردد. در این مقاله روشی مرکب از روش‌های تحلیلی با استفاده از بهینه‌سازی ریاضی و روش‌های تقریبی برای این مساله ارائه گردیده است. این روش شامل سه مرحله است. در مرحله اول یک جایابی اولیه ایجاد می‌شود که می‌تواند بصورت تصادفی یا با یک روش تخمینی انجام گیرد. در مرحله دوم یک جایابی با استفاده از الگوریتم سردسازی شبیه‌سازی شده انجام می‌گیرد که با استفاده از روش‌های استاندارد انجام شده است و در مرحله سوم با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی ریاضی، جایگیری سلول‌های داخل هر سطر بهینه می‌شود و تابع هدف این بهینه‌سازی برای بهینه شدن طول سیم‌های اتصالات این سطر با بقیه قسمت‌های مدار طراحی شده است. نتایج نشان می‌دهد که کیفیت روش ارائه شده جواب بهتر از روش‌های کاملاً تصادفی است و افزایش زمان محاسبات هم در حد قابل قبولی است بوده است. آزمایشات انجام شده نشان می‌دهد که با استفاده از روش ارائه شده کیفیت بطور متوسط ۲۸/۶٪ نسبت به روش SA بهبود داشته است. حال آنکه زمان محاسبات تنها به نسبت ۱/۲٪ افزایش یافته است که با بزرگ شدن مدار این نسبت کاهش می‌یابد.