استفاده از تکه‌بندی ماتریسی و پردازش سیستولیکی برای شناسائی رادارها *

علی ناصری [۱]   مجید نادری [۲]   هادی شهریار شاه حسینی [۳]

چکیده دو پارامتر سرعت و دقت در انجام عملیات شناسائی رادارها توسط گیرنده‌های هشدار راداری بلادرنگ (Electronic Support Measure - ESM) همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است. بدین منظور در این مقاله پردازنده آرایه‌ای طراحی می‌گردد که قادر است بصورت بلادرنگ و با دقتی بسیار بالا نوع تکنیک بکار رفته در تولید رشته پالس رادارها را شناسائی نماید. برای دستیابی به این پردازنده در آغاز الگوریتمی ماتریسی برای شناسائی تکنیکها پیشنهاد می‌گردد و سپس با روشی که ضرب‌کننده سیستولیکی زیرماتریسهای همگن یا (Homogeneous Submatrix Systolic Multiplier) نامگذاری شده، طراحی پردازنده آرایه ای انجام می‌شود. نتایج مدلسازی و شبیه سازی انجام شده کارائی و بلادرنگ عمل نمودن پردازنده یاد شده را تایید می‌نماید.

واژه‌های کلیدی شناسایی رادار، پردازش موازی، آرایه سیستولیک، عملیات ماتریسی، اقدامات پشتیبانی الترونی، تکه بندی ماتریسی.

Radar Identification by Parallel Systolic Processing and Matrix Clustering

A. Naseri   M. Naderi   H. S. Shahhoseini

Abstract *To identify different radar techniques, a matrix algorithm is proposed in this paper. A systolic array is designed to do the algorithm in real time manner. Homogeneous Submatrix Systolic multiplier (HSSM) method has been used in this design. Modeling and simulation results show the processor could effectively identify different radar techniques.*

Key Words Radar Identification, Parallel Processing, Systolic Array, Matrix Operation, Electronic Support Measure, Matrix Clustering.

---

* نسخه اولیه مقاله در تاریخ ۸۱/۳/۱۸ و نسخه نهایی آن در تاریخ ۸۲/۲/۸ به دفتر نشریه رسیده است.

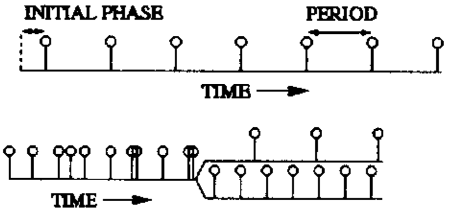
(۱) دانشجوی دکتری، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی برق

(۲) دانشیار، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی برق

(۳) استادیار، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی برق

مقدمه

گیرنده ESM وظیفه شناسائی رادارها را به صورت بلادرنگ بر عهده دارد[1]. ورودی این گیرنده پالس‌های متداخل دریافتی از رادارهای منطقه تحت پوشش خود می‌باشد. شکل(۱) یک رشته پالس تکی و دو رشته پالس که با هم یک رشته پالس متداخل می‌سازند را نشان می‌دهد.



شکل ۱ رشته پالس تکی و رشته پالس متداخل

گیرنده ESM با دو بخش خوشه بندی و شناسائی، رادارهای فعال موجود در محدوده عملکرد خود را شناسائی می‌کند. هدف از خوشه بندی جدا نمودن رشته پالس‌های متداخل دریافتی از یکدیگر است به صورتی که رشته پالس هر خوشه مربوط به یک رادار خاص باشد. بعد از عمل خوشه بندی بایستی رشته پالس موجود در هر خوشه و یا به عبارت دیگر، رادار ارسال کننده رشته پالس خوشه، شناسائی گردد این وظیفه مهم به عهده بخش شناسائی سیستم ESM می‌باشد. عمل خوشه بندی همزمان با دریافت رشته پالس‌ها انجام می‌گیرد بنابراین زمان آن در کل زمان عملکرد سیستم تاثیر چندانی ندارد[1] و از این رو تسریع درانجام عملیات شناسائی رشته پالس در بلادرنگ عمل نمودن سیستم تاثیر بسزائی دارد. به همین دلیل پژوهشگران سیستم‌هایESM همواره سعی در ارائه روش‌هایی سریع برای شناسایی تکنیک‌های رادار داشته و دارند. روش‌های زیادی در گذشته بدین منظور ارائه شده است که از مهمترین آنها می‌توان روش NASH [2]، روش استفاده از فیلتر کالمن توسعه یافته[3]، روش استفاده از الگوریتم ترکیبی مدل مخفی مارکف و مدل سری زمانی باینری[4]، روش‌های استفاده از تبدیل فوریه و تبدیل فوریه اصلاح شده[5]، روش استفاده از الگوریتم اقلیدسی اصلاح شده [6] روش استفاده از تبدیل هاج(Hough Transform) [7]، روش استفاده از مدل دینامیکی - خطی [8] و روش‌های هیستوگرام تفاضلی[10-9] را نام برد. این الگوریتم‌ها دارای عملیات متوالی و یا غیر موازی می‌باشند بنابراین در شناسائی بلادرنگ همواره دچار مشکل بوده‌اند. در این مقاله روشی بر مبنای عملیات ماتریسی برای شناسائی رشته پالس خوشه ارائه شده که افزون بر قابلیت موازی سازی، دقت بسیار خوبی نیز بدست می‌دهد. بعد از ارائه روش پیشنهادی، پردازنده آرایه ای بر اساس ضرب کننده سیستولیکی زیر ماتریس‌های همگن، برای انجام محاسبات آن طراحی می‌گردد.

روش پیشنهادی برای شناسائی رشته پالس و اصول بنیادی آن

شناسائی رشته پالس به منظور تشخیص نوع تکنیک بکار رفته در فاصله تکرار پالس آن (فاصله تکرارپالس ثابت (Constant Pulse Repetition Interval) ، فاصله تکرار پالس استگر (Stagger Pulse Repetition Interval) و فاصله تکرار پالس جیتر (Jitter Pulse Repetition Interval) و استخراج مقدار یا متوسط مقدار آن انجام می‌گیرد. در این بخش یک روش ماتریسی برای شناسائی رشته پالس خوشه ارائه می‌شود که در بخش بعد طراحی پردازنده آرایه ای برای انجام عملیات آن به تفصیل خواهد آمد. شکل (۲) دیاگرام مرحله ای روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. در این شکل ΔTOA ماتریس اختلاف زمان ورود پالس‌ها و PTI ماتریس شناسائی رشته پالس (Pulse Train Identification) می‌باشد (روابط ۱و۲).

$$\Delta TOA_{(i,j)} = \left|TOA_{(j)} - TOA_{(i)}\right| \quad 1 \le i, j \le N \quad (۱)$$

$$PTI = \Delta TOA^{*}(HM)^{-1} \quad (۲)$$

در روابط بالا N تعداد پالس‌ها ، TOA (i) زمان ورود پالس i ام خوشه و HM ماتریس هارمونیک (Harmonic Matrix) است. روابط ۳ و ٤ بترتیب ماتریس هارمونیک و معکوس آن را به ازای تعداد پالسN نشان می‌دهند.

$$HM = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & . & . & . & N-1 \\ 1 & 0 & 1 & . & . & . & N-2 \\ 2 & 1 & 0 & 1 & . & . & N-3 \\ . & . & . & . & . & . & . \\ N-1 & N-2 & . & . & . & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (۳)$$

$$HM^{-1} = \begin{vmatrix} \frac{-N+2}{2N-2} & 0.5 & 0 & 0 & 0 & \cdots\cdots & 0 & \frac{1}{2N-2} \\ 0.5 & -1 & 0.5 & 0 & 0 & \cdots\cdots & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & -1 & 0.5 & 0 & \cdots\cdots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & -1 & 0.5 & \cdots\cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \cdots\cdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \cdots\cdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots \; 0.5 & -1 & 0.5 \\ \frac{1}{2N-2} & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots\cdots & 0.5 & \frac{-N+2}{2N-2} \end{vmatrix}$$

(٤)

در معکوس ماتریس هارمونیک به‌ازای $N \to \infty$،

$$HM^{-1}(1,N) = HM^{-1}(N,1) \to 0$$

$$HM^{-1}(1,1) = HM^{-1}(N,N) \to -0.5$$ و

میل خواهد کرد لذا در این حالت، اگر از عناصر $HM^{-1}(1,1)$ و $HM^{-1}(N,N)$ چشم پوشی شود، این ماتریس تاپلیتز(Taplitz) خواهد شد. در زیر با چند مثال به بررسی کارائی این روش برای تکنیک‌های مختلف می‌پردازیم .

مثال (۱) نتایج شبیه سازی با نرم افزارMATLAB نشان می‌دهد ماتریس شناسائی رشته پالس برای رشته پالس از نوع فاصله تکرار پالس ثابت با فاصله تکرار پالس۲۰ و تعداد پالس ۵ به صورت زیر می‌باشد.

$$PTI = \begin{bmatrix} 20 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 20 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 20 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 20 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 20 \end{bmatrix}$$

تمام عناصر قطر اصلی ماتریس بالا با هم برابر می‌باشند. بنابراین مطابق شکل (۲) ماتریس یاد شده بیانگر رشته پالس از نوع فاصله تکرار پالس ثابت است .

مثال (۲) نتایج شبیه سازی با نرم افزار MATLAB نشان می‌دهد برای رشته پالس با نسبت فاصله تکرار پالس‌های ۵:۲ و تعداد پالس۷ ماتریس شناسائی رشته پالس به صورت زیر است.

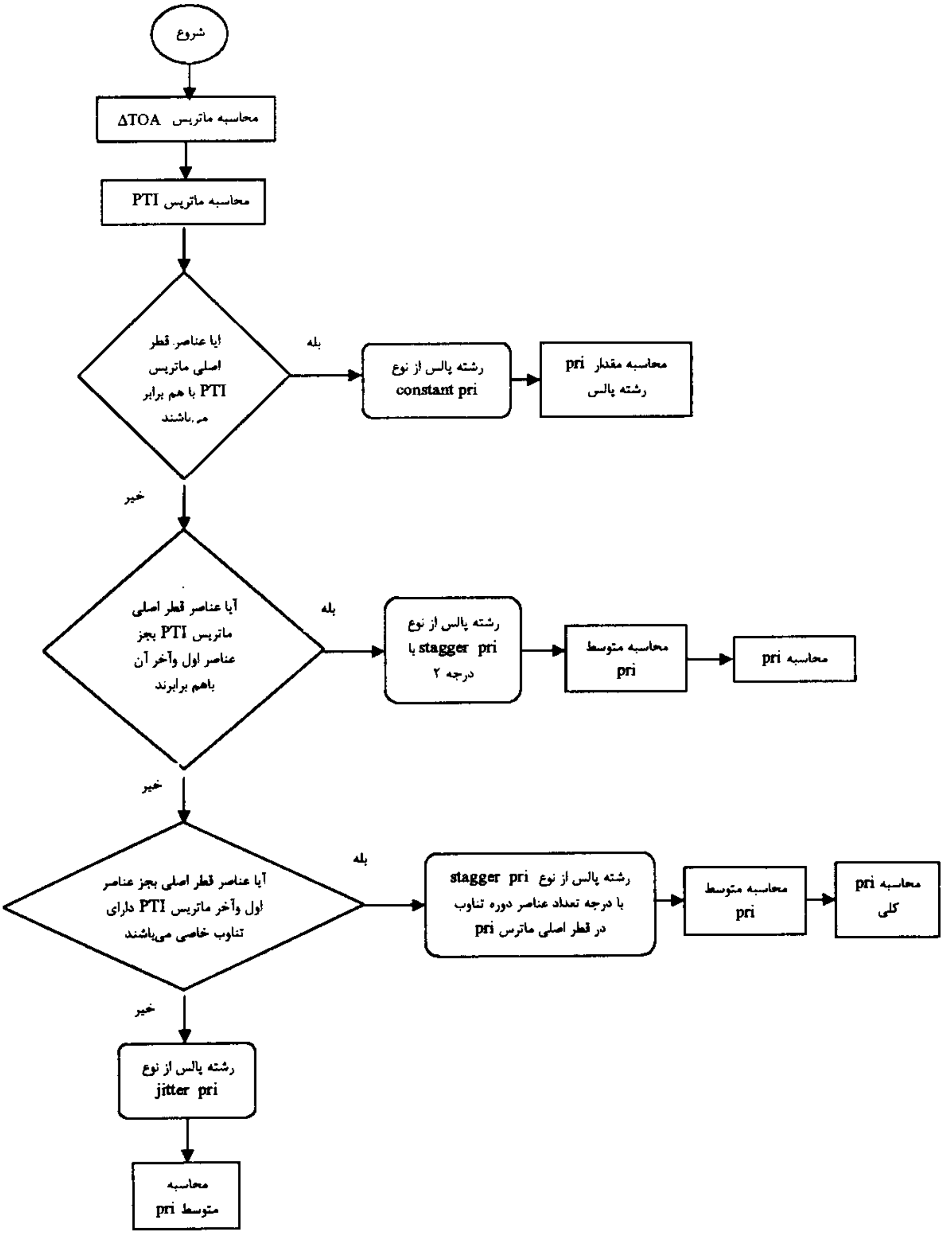
$$PTI = \begin{bmatrix} 4.25 & -1.5 & 1.5 & -1.5 & 1.5 & -1.5 & 0.75 \\ -0.75 & 3.5 & 1.5 & -1.5 & 1.5 & -1.5 & 0.75 \\ -0.75 & 1.5 & 3.5 & -1.5 & 1.5 & -1.5 & 0.75 \\ -0.75 & 1.5 & -1.5 & 3.5 & 1.5 & -1.5 & 0.75 \\ -0.75 & 1.5 & -1.5 & 1.5 & 3.5 & -1.5 & 0.75 \\ -0.75 & 1.5 & -1.5 & 1.5 & -1.5 & 3.5 & 0.75 \\ -075 & 1.5 & -1.5 & 1.5 & -1.5 & 1.5 & 2.75 \end{bmatrix}$$

همانطور که در ماتریس بالا دیده می‌شود عناصر قطر اصلی بجز عناصر اول و آخر آن، با هم برابر می‌باشند پس مطابق شکل (۲) ماتریس یاد شده بیانگر رشته پالس استگر از درجه دو خواهد بود.

مثال(۳) نتایج شبیه سازی با نرم افزار MATLAB نشان می‌دهد برای رشته پالس از نوع استگر با نسبت فاصله تکرار پالس‌های ۹:۷:۱:۵ و تعداد پالس ۱۲ ماتریس شناسائی رشته پالس به صورت زیر است.

$$PTI = \begin{bmatrix} 7.2727 & -1 & -3 & 2 & 2 & -1 & -3 & 2 & 2 & -1 & -3 & 2.2727 \\ -1.7273 & 8 & -3 & 2 & 2 & -1 & -3 & 2 & 2 & -1 & -3 & 2.2727 \\ -1.7273 & 1 & 4 & 2 & 2 & -1 & -3 & 2 & 2 & -1 & -3 & 2.2727 \\ -1.7273 & 1 & 3 & 3 & 2 & -1 & -3 & 2 & 2 & -1 & -3 & 2.2727 \\ -1.7273 & 1 & 3 & -2 & 7 & -1 & -3 & 2 & 2 & -1 & -3 & 2.2727 \\ -1.7273 & 1 & 3 & -2 & -2 & 8 & -3 & 2 & 2 & -1 & -3 & 2.2727 \\ -1.7273 & 1 & 3 & -2 & -2 & 1 & 4 & 2 & 2 & -1 & -3 & 2.2727 \\ -1.7273 & 1 & 3 & -2 & -2 & 1 & 3 & 3 & 2 & -1 & -3 & 2.2727 \\ -1.7273 & 1 & 3 & -2 & -2 & 1 & 3 & -2 & 7 & -1 & -3 & 2.2727 \\ -1.7273 & 1 & 3 & -2 & -2 & 1 & 3 & -2 & -2 & 8 & -3 & 2.2727 \\ -1.7273 & 1 & 3 & -2 & -2 & 1 & 3 & -2 & -2 & 1 & 4 & 2.2727 \\ -1.7273 & 1 & 3 & -2 & -2 & 1 & 3 & -2 & -2 & 1 & 3 & 3.2727 \end{bmatrix}$$

در صورتی که از عناصر ابتدا و انتهای ماتریس بالا چشم‌پوشی شود، عناصر ۸ ، ٤، ۳ و ۷ در قطر اصلی تکرار می‌گردند،از آنجا که چهار عدد در قطر اصلی تکرار می‌گردد لذا مطابق شکل (۲) ماتریس یادشده بیانگر رشته پالس



شکل ۲ دیاگرام مرحله‌ای شناسایی تکنیک‌های بکار رفته در فاصله تکرار پالس رادار

از نوع استگر با درجه چهار می‌باشد.

مثال(٤) نتایج شبیه سازی با نرم افزار MATLAB نشان می‌دهد برای رشته پالس از نوع جیتر با فاصله تکرار پالس ۸، واریانس ۲۰ و تعداد پالس ۷ ماتریس شناسائی رشته پالس به صورت زیر است.

$$PTI=\begin{bmatrix} 8.7375 & -1.3253 & 1.1841 & -0.7707 & 0.6033 & -0.6250 & 0.3302 \\ -0.6035 & 8.0157 & 1.1841 & -0.7707 & 0.6033 & -0.6250 & 0.3302 \\ -0.6035 & 1.3253 & 7.8745 & -0.7707 & 0.6033 & -0.6250 & 0.3302 \\ -0.6035 & 1.3253 & -1.1841 & 8.2879 & 0.6033 & -0.6250 & 0.3302 \\ -0.6035 & 1.3253 & -1.1841 & 0.7707 & 8.1204 & -0.6250 & 0.3302 \\ -0.6035 & 1.3253 & -1.1841 & 0.7707 & -0.6033 & 8.0987 & 0.3302 \\ -0.6035 & 1.3253 & -1.1841 & 0.7707 & -0.6033 & 0.6250 & 7.8039 \end{bmatrix}$$

همانطور که در ماتریس بالا دیده می‌شود عناصر قطر اصلی نظم و یا ترتیب خاصی ندارند. بنابراین مطابق شکل (۲) ماتریس یاد شده بیانگر رشته پالس از نوع جیتر خواهد بود . بعد از تشخیص نوع تکنیک رشته پالس برای تشخیص نوع رادار مربوطه به مقدار یا متوسط مقدار فاصله تکرار پالس، رشته پالس آن نیاز است. در جدول (۱) فرمول‌های محاسبه فاصله تکرار پالس برای تکنیک‌های مختلف آورده شده است.

پیاده سازی روش پیشنهادی با استفاده از پردازنده آرایه ای

همانطور که در بخش مقدمه آورده شد تسریع در انجام عملیات شناسائی رشته پالس خوشه تاثیر بسزائی در بلادرنگ عمل نمودن سیستم ESM دارد. در روش شناسائی پیشنهادی ماتریس اختلاف زمان ورود پالس‌ها را می‌توان به صورت رابطه ۵ نوشت.

$$\Delta TOA = -I \times A + C \qquad (۵)$$

در رابطه ۵ ماتریس I ماتریس یکه است وماتریس‌های A و C به صورت زیر تعریف می‌شوند.

$$A_{(N\times N)}=\begin{bmatrix} t_1 & t_1 & t_1 & t_1 \cdots\cdots & t_1 & t_1 \\ t_1 & t_2 & t_2 & t_2 \cdots\cdots & t_2 & t_2 \\ t_1 & t_2 & t_3 & t_3 \cdots\cdots & t_3 & t_3 \\ t_1 & t_2 & t_3 & t_4 \cdots\cdots & t_4 & t_4 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ t_1 & t_2 & t_3 & t_4 \cdots\cdots & t_{N-1} & t_N \end{bmatrix}$$

$$C_{(N\times N)}=\begin{bmatrix} t_1 & t_2 & t_3 & t_4 \cdots\cdots & t_N \\ t_2 & t_2 & t_3 & t_4 \cdots\cdots & t_N \\ t_3 & t_3 & t_3 & t_4 \cdots\cdots & t_N \\ t_4 & t_4 & t_4 & t_4 \cdots\cdots & t_N \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ t_N & t_N & t_N & t_N \cdots\cdots & t_N \end{bmatrix}$$

همانطورکه در رابطه ۵ دیده می‌شود از آنجا که عمل ضرب ماتریس A با منفی ماتریس یکه انجام می‌شود می‌توان از آن چشم پوشی کرد و فقط عناصر ماتریس A را با علامت منفی با عناصر ماتریس c جمع نمود. از طرفی جمع دو ماتریس حجم محاسبات کمی‌دارد و زمان انجام آن نسبت به دیگر زمان‌های مرحله شناسائی قابل چشم پوشی است. از این رو، در روش شناسائی پیشنهادی بیشترین زمان صرف محاسبه ماتریس شناسائی رشته پالس می‌شود. این ماتریس از ضرب دو ماتریس اختلاف زمان ورود پالس‌ها و معکوس ماتریس هارمونیک بدست می‌آید.

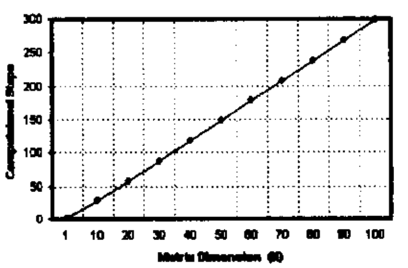
جدول ۱ روابط محاسبه فاصله تکرار پالس برای تکنیک‌های مختلف

Constant PRI	$PRI = \frac{TRACE(PTI)}{N}$	
Stagger PRI	$Mean\ PRI = \frac{Trace\ (PTI)}{N}$	$Total\ (PRI) = Mean\ (PRI) * Degree\ \ Stagger$
Jitter PRI	$Mean\ PRI = \frac{Trace\ (PTI)}{N}$	

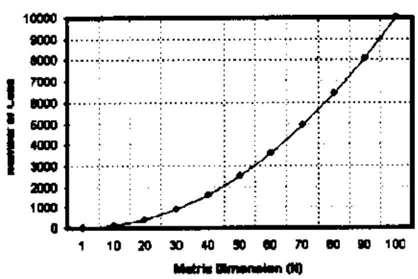
دقت شناسائی رشته پالس‌ها از ماتریس شناسائی رشته پالس به تعداد پالس در نظر گرفته شده یا ابعاد ماتریس‌ها بستگی دارد. بنابراین برای رسیدن به دقت بالا بایستی عملیات روی ماتریس‌های با ابعاد بزرگ انجام گیرد. الگوریتم استاندارد ضرب ماتریس‌ها به صورت متوالی دارای پیچیدگی زمانی $O(N^3)$ است که در آن N بعد ماتریس‌ها می‌باشد[11]. الگوریتم استراسن[12] اولین الگوریتمی بود که برای کاهش پیچیدگی زمانی ضرب ماتریسی ارائه شد. این الگوریتم پیچیدگی زمانی را از $O(N^3)$ به $O(N^{2.8074})$ تقلیل داد. پس از آن الگوریتم‌های دیگری توسط سایر پژوهشگران ارائه شد که بهترین آنها تا به امروز پیچیدگی زمانی را به $O(N^{2.3755})$ تقلیل داده‌اند[13]. به دلیل بزرگ بودن ابعاد ماتریس‌ها و لزوم انجام بلادرنگ محاسبات بایستی برای پیاده سازی روش پیشنهادی از آرایه سیستولیکی که مناسبترین ساختار موازی برای عملیات ماتریسی است، استفاده نمود. این آرایه برای انجام محاسبات ماتریس‌های بزرگ دارای مشکلاتی از قبیل مراحل زیاد عملیات و ابعاد بزرگ که منجر به تاخیر انتشار بیشتر و عدم امکان همزمانی بین سلول‌ها می‌شود، می‌باشد[14]. شکل‌های (۳) و (٤) بترتیب حجم عملیات آرایه سیستولیک ضرب ماتریس و تعداد سلول‌های آرایه سیستولیکی را برحسب ابعاد ماتریس برای بردار نگاشت (0,0,1) نشان می‌دهند (در بخش های بعدی دربارهٔ بردار نگاشت به طور مفصل بحث می‌شود). در این بخش با روش HSSM پردازنده آرایه ای مناسب که از تعدادی آرایه سیستولیکی تشکیل شده است برای انجام عملیات ضرب مربوط به محاسبه ماتریس شناسائی رشته پالس طراحی می‌گردد که در آن افزون بر تسریع ناشی از استفاده از آرایه سیستولیک از تسریع انجام عملیات بدلیل تکه کردن ماتریس‌ها نیز بهره برده می‌شود. در بخش ارزیابی نشان داده خواهد شد که استفاده از پردازنده آرایه ای پیچیدگی عملیات ضرب ماتریس را به مقدار $O(N)$ کاهش داده است.

روش HSSM

در این بخش برای غلبه بر سربارهای موازی سازی در ضرب ماتریس‌های بزرگ، روشی بنام ضرب‌کننده سیستولیکی زیر ماتریس‌های همگن یا HSSM برای تکه کردن ماتریس‌های بزرگ اختلاف زمان ورود پالس‌ها و معکوس ماتریس هارمونیک و سپس ضرب آنها توسط آرایه‌های سیستولیک، پیشنهاد می‌گردد. در این روش ماتریس‌ها به زیرماتریس‌هائی تقسیم شده و به این ترتیب برای ضرب زیرماتریس‌ها از آرایه‌های با ابعاد کوچکتر استفاده می‌شود. شایان توجه است که برای ضرب‌پذیری زیرماتریس‌ها می‌بایست آنها هم بعد باشند و به همین دلیل در این مقاله ساختار همگن



شکل۳ تعداد مراحل عملیات لازم برای ضرب دو ماتریس مربعی در یک آرایه سیستولیک برحسب ابعاد ماتریس



شکل ٤ تعداد سلول‌های آرایه سیستولیک بر حسب ابعاد ماتریس

برای تقسیم‌بندی ماتریس در نظر گرفته شده است. برای شرح روش HSSM فرض می‌شود ماتریس‌های A و B دو ماتریس مربعی ΔTOA و HM^{-1} با ابعاد $N \times N$ باشند. روابط ٦ و ٧ این دو ماتریس را که از نظر ابعاد به S^2 تکه یکسان تقسیم شده‌اند نشان می‌دهد. در این روابط A_{ij}و B_{ij} زیرماتریس‌های مربعی با ابعاد $\frac{N}{S}$ می‌باشند.

$$A_{N\times N} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1S} \\ A_{21} & A_{21} & \cdots & A_{2S} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ A_{S1} & A_{S2} & \cdots & A_{SS} \end{bmatrix} \qquad (٦)$$

$$B_{N\times N} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & \cdots & B_{1S} \\ B_{21} & B_{21} & \cdots & B_{2S} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ B_{S1} & B_{S2} & \cdots & B_{SS} \end{bmatrix} \qquad (٧)$$

اگر حاصلضرب $A \times B$ را ماتریس R بنامیم می‌توان زیر ماتریس‌های آنرا برحسب زیرماتریس‌های مربوط به Aو B بسادگی بدست آورد. روابط ٨ و ٩ ماتریس حاصلضرب و چگونگی محاسبه زیر ماتریس‌های آنرا نشان می‌دهند.

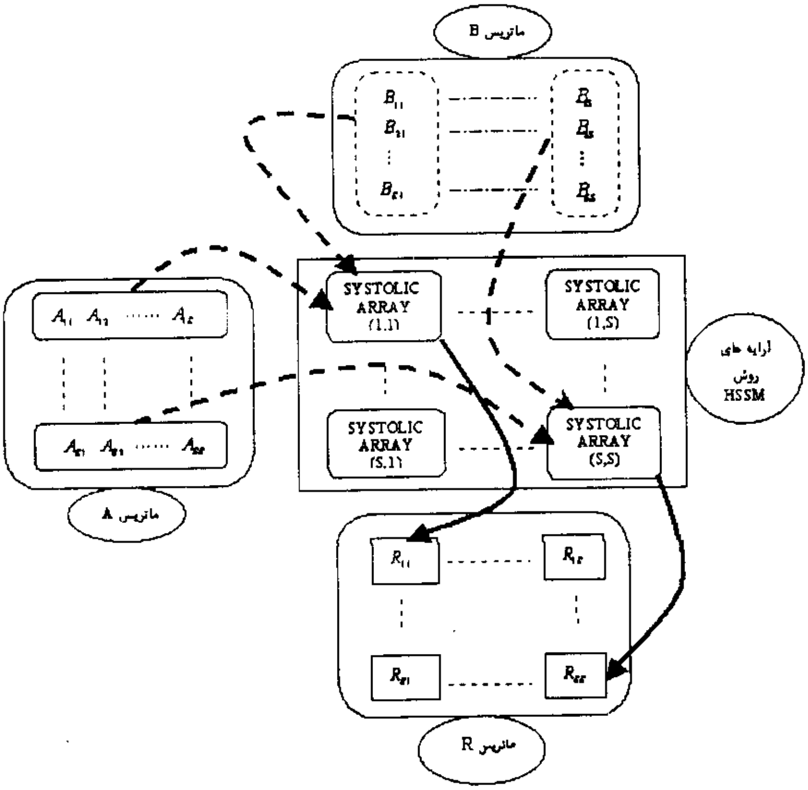
$$R = A \times B = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdots & R_{1S} \\ R_{21} & R_{21} & \cdots & R_{2S} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ R_{S1} & R_{S2} & \cdots & R_{SS} \end{bmatrix} \qquad (٨)$$

$$R_{ij} = \sum_{k=1}^{S} A_{ik} B_{kj} \qquad (٩)$$

بنابر رابطه ٩ برای محاسبه هر زیرماتریس از ماتریس حاصلضرب R، می‌بایست S عمل ضرب ماتریس‌های $\frac{N}{S} \times \frac{N}{S}$ و سپس $S-1$ عمل جمع ماتریس‌های $\frac{N}{S} \times \frac{N}{S}$ انجام پذیرد. رابطه ١٠ مقدار n_s یا تعداد عملیات ماتریسی لازم برای محاسبه هر زیرماتریس R را نشان می‌دهد.

$$n_s = (S-1) + S = 2S - 1 \qquad (١٠)$$

شکل(٥) شمای بلوکی روش HSSM را نشان می‌دهد. در این شکل S^2 آرایه سیستولیک عملیات محاسبه ماتریس R را انجام می‌دهد (هر آرایه با انجام $2S-1$ عمل جمع و یا ضرب‌ماتریسی یکی از زیر ماتریس‌های ماتریس R را محاسبه می‌نماید). شایان توجه است که تعداد سلول‌های آرایه سیستولیک با ابعاد ماتریسی که قرار است برروی آن عملیات انجام پذیرد نسبت مستقیم دارد. از طرف دیگر جمع تعداد سلول‌های بکار رفته در پردازنده آرایه‌ای روش HSSM با تعداد سلول‌های یک آرایه سیستولیک به تنهائی برای همان عملیات برابر است (مثلا به ازای بردار نگاشت، (0,0,1) تعداد سلول‌های آرایه برای عملیات بر روی ماتریس‌های $N \times N$ برابر N^2 است (شکل٤). بنابراین برای محاسبه زیرماتریس‌های R، عملا S^2 آرایه که هرکدام دارای $(\frac{N}{S})^2$ سلول می‌باشند، لازم است.به این ترتیب ملاحظه می‌گردد که کل سلول‌های لازم برای آرایه‌ها جمعا برابر $S^2 \times (\frac{N}{S})^2 = N^2$ است که این مقدار همان تعداد سلول‌های لازم برای ضرب ماتریس‌های A و B به صورت مستقیم و با یک آرایه سیستولیک است). در نتیجه اگر از روش HSSM، برای ضرب ماتریس‌ها استفاده شود حجم کل سخت افزار لازم تغییری نخواهد کرد ولی مشکلات عدم همزمانی و کندی آرایه‌های بزرگ، بدلیل کوچکتر شدن آرایه‌ها برطرف خواهد شد. (شایان توجه است هم ساختار داخلی سلول‌های آرایه سیستولیک یکی است و هم به صورت سنکرون عمل می‌نمایند بنابراین روش یاد شده با تکنولوژی VLSI قابل پیاده سازی خواهد بود که این خود باعث می‌شود هزینه پیاده سازی آن بسیار کم شود). در بخش بعد به بحث روی نتایج حاصل از شبیه‌سازی ومدل کردن روش HSSM پرداخته می‌شود. این مباحث به تعیین بهترین ساختار روش HSSM برای داشتن کمترین زمان عملیات در ضرب ماتریس‌ها منجر خواهد گردید.



شکل ۵ چگونگی عملکرد ضرب‌کننده زیرماتریس‌های همگن (HSSM)

زمان انجام عملیات و کارآئی روش HSSM

انجام ضرب ماتریس‌های بزرگ توسط یک آرایه سیستولیکی به تنهائی به دلیل بزرگ شدن ابعاد آرایه که خود موجب افزایش تاخیر انتشار پالس ساعت در داخل آرایه و عدم فعالیت سنکرون سلول‌ها می‌شود، باعث افت شدید در سرعت عملکرد آن می‌گردد. از این رو در بخش قبل روشی بنام HSSM پیشنهاد گردید. این روش ابتدا ماتریس‌ها را تکه کرده و سپس توسط آرایه‌های سیستولیکی در هم ضرب می‌کنند. در این بخش به زمان انجام عملیات و کارآئی روش یاد شده پرداخته می‌شود. برای این کار بردار نگاشت، (0,0,1) به عنوان نمونه در نظر گرفته می‌شود. برای بدست آوردن زمان کل انجام محاسبات نمادهای زیر تعریف می‌شوند.

A,B	ماتریس‌ها یی که باید درهم ضرب شوند
R	ماتریس‌حاصلضرب
N	ابعاد ماتریس‌ها
S	تعداد تقسیمات ستونی یا سری ماتریس تقسیم‌بندی شده (تعداد کل زیرماتریس‌ها برابر S^2 است)
n_m	تعداد عملیات ماتریسی برای محاسبه هر زیرماتریس از ماتریس حاصلضرب
n_s	تعداد مراحل عملیات هر عمل ماتریسی برای محاسبه هر زیرماتریس از ماتریس حاصلضرب
n	تعداد مراحل اجرای عملیات برای محاسبه یک زیرماتریس

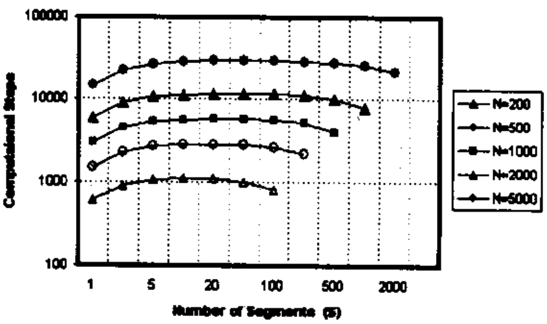
p	تعداد سلول‌های هر آرایه روش HSSM	
τ	زمان انجام عملیات در هر سلول آرایه سیستولیک (زمان انجام عملیات سلول‌ها برابر می‌باشد)	
$D(p)$	تاخیر انتشار کلاک درهر آرایه سیستولیک p سلولی	
T	پریود پالس ساعت هر آرایه روش HSSM	
t_s	زمان کل محاسبه هر زیرماتریس از ماتریس حاصلضرب	
t_T	زمان کل محاسبات	

تعداد مراحل انجام عملیات در هر آرایه سیستولیکی که قرار است عملیات ماتریسی با ابعاد N را انجام دهد براساس رابطه ۱۱ قابل محاسبه است. بنابراین تعداد مراحل لازم (تعدادپالس ساعت) برای هر عمل ماتریسی در محاسبه زیرماتریس‌های ماتریس t توسط آرایه‌های شکل(۵) از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$n_s = (\frac{3N}{S} - 2) \qquad (۱۱)$$

در روش HSSM هر زیرماتریس دارای بعد $\frac{N}{S}$ است. از این رو با توجه به رابطه ٦ تعداد کل مراحل عملیات لازم برای محاسبه هر زیرماتریس از ماتریس حاصلضرب برابر خواهد بود با:

$$n = n_s \times n_m = (\frac{3N}{S} - 2)(2S - 1) \qquad (۱۲)$$



شکل ٦ تعداد مراحل عملیات لازم سلول‌های آرایه سیستولیک برحسب تعداد تکه‌های ماتریس

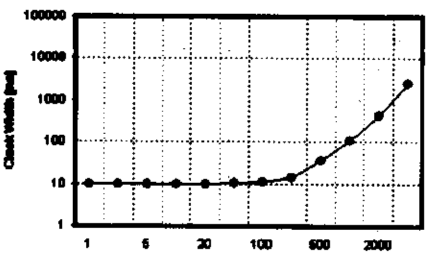
شکل (٦) تعداد مراحل اجرای عملیات توسط هر آرایه را برحسب S و به ازای مقادیر مختلف بعد ماتریس نشان می‌دهد. در این شکل حداکثر مقدار S در رسم منحنی‌ها $\frac{N}{2}$ درنظر گرفته شده است. در این حالت هر زیرماتریس حداقل چهار آرایه خواهد داشت. همانطوریکه در شکل(٦) دیده می‌شود با زیاد شدن تعداد زیر ماتریس‌ها ابتدا تعداد کلاک‌ها افزایش یافته و سپس تقریبا ثابت باقی می‌ماند. از طرف دیگر به ازای مقادیر بزرگتر S ، ابعاد آرایه‌های شکل(۵) کوچکتر می‌گردد. کوچک شدن آرایه‌ها باعث کم شدن تاخیر انتشار پالس ساعت و در نتیجه کاهش عرض آن می‌شود. عرض پالس ساعت که با T نمایش داده می‌شود، برابر با مجموع زمان اجرای عملیات در هر سلول (τ) و تاخیر انتشار پالس در داخل آرایه ($D(p)$) می‌باشد. در یک مدل ساده تاخیر انتشار متناسب با تعداد سلول‌های آرایه متناسب فرض می‌شود. اگر ضریب تناسب را α بنامیم:

$$D(p) = \alpha p \qquad (۱۳)$$

برای بردار نگاشت $(0,0,1)$ که در مقاله مد نظر بوده است، تعداد سلول‌های آرایه (p) برای عملیات بر روی ماتریس‌های $N \times N$ برابر N^2 است. بنابراین :

$$T = \tau + D(p) = \tau + \alpha N^2 \qquad (۱٤)$$

شکل (۷) منحنی تغییرات عرض پالس ساعت را به



شکل ۷ پهنای پالس ساعت آرایه سیستولیک بر حسب ابعاد ماتریس به ازای $\alpha = 0.001ns$ و $\tau = 10ns$

ازای $\alpha = 0.001ns$ و $\tau = 10ns$ برحسب N نمایش می‌دهد. مطابق این شکل با بزرگ شدن ابعاد آرایه، زمان پالس ساعت افزایش می‌یابد. اما در روش HSSM تعداد سلول‌های آرایه‌هائی که برای ضرب زیرماتریس‌ها بکارمی‌رود برابر $\frac{N}{S}$ است، بنابراین عرض پالس ساعت برای هر آرایه در روش HSSM (شکل۵) برابر است با:

$$T = \tau + D(p) = \tau + \alpha \frac{N}{S} \qquad (۱۵)$$

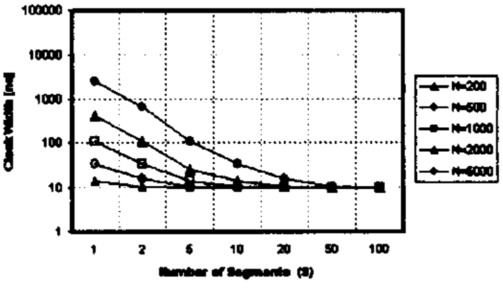
شکل (۸) منحنی تغییرات عرض پالس ساعت را برحسب S به ازای همان مقادیر α و τ که در شکل (۷) نمایش داده شده و برای مقادیر مختلف N نشان می‌دهد. همانطور که در شکل(۸) ملاحظه می‌شود با بزرگ شدن S عرض پالس ساعت کوچکتر می‌شود. بنابرآنچه بیان شد زمان کل عملیات برای انجام محاسبه هر زیرماتریس از ماتریس حاصلضرب برابر است با:

$$t_s = nT = (\frac{3N}{S} - 2)(2S-1)(\tau + \alpha \frac{N}{S}) \qquad (۱۶)$$

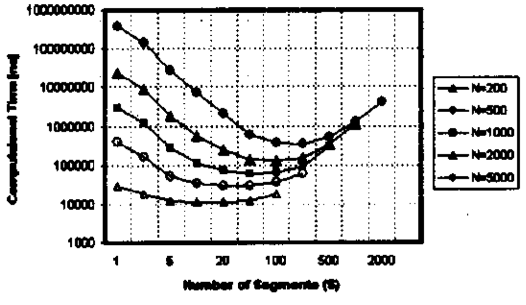
از طرف دیگر باید توجه نمود که در ضرب مستقیم دو ماتریس $N \times N$ درایه ماتریس‌ها به ترتیب روندی که براساس ساختار آرایه سیستولیک مشخص می‌شود به آرایه وارد می‌گردند و درنهایت پاسخ محاسبه می‌شود. ولی در روش HSSM شکل(۵) در محاسبه هر زیرماتریس حاصلضرب پس از ضرب دو بلوک $A_{ik}B_{kj}$ برای نگهداری نتایج جهت محاسبات آتی (جمع نتایج بدست آمده از ضرب بلوکها) می‌بایست نتیجه در یک بافر میان‌راهی ذخیره گردد. بنابراین بایستی به زمان بدست آمده در رابطه ۱۶ زمان بافرینگ نیز اضافه گردد. رابطه ۱۷ زمان کل محاسبات را بدست می‌دهد. در این رابطه t_b زمان بافرینگ در کل عملیات محاسبه زیرماتریس‌های B_{ij} و τ_b زمان هربار بافر کردن نتیجه میان‌راهی می‌باشد. به این ترتیب زمان کل محاسبه به صورت زیر خواهد شد:

$$t_T = t_s + t_b = \{(\frac{3N}{S} - 2)(2S-1)(\tau + \alpha \frac{N}{S})\} + (\tau_b S) \qquad (۱۷)$$

شکل (۹) تغییرات زمان کل محاسبات را بر حسب S به ازای $\alpha = 0.001ns$ ، $A_{ik}B_{kj}$ ، $\tau_b = 100ns$ و مقادیر مختلف N نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با اعمال روش HSSM برای محاسبه ضرب ماتریس‌ها ابتدا زمان محاسبات کاهش یافته و پس از مدتی افزایش می‌یابد. شایان ذکر است که مقادیر زمان محاسبه به ازای $S = 1$ نشان دهنده ضرب معمولی ماتریس‌ها با استفاده از یک آرایه سیستولیک می‌باشد. علت نزول و سپس صعود منحنی زمان کل محاسبات، تاثیر سربارهای تقسیم بندی ماتریس می‌باشد. درحقیقت هرچه تعداد زیرماتریس‌ها بزرگتر شود سربارهائی نظیر بافرینگ و



شکل ۸ پهنای پالس ساعت آرایه‌های سیستولیک در روش HSSM بر حسب S



شکل ۹ زمان انجام عملیات سلول‌های آرایه سیستولیک بر حسب تعداد تکه‌های ماتریس به ازای $\alpha = 0.0001ns$ و $\tau = 10ns$ و $k = 100ns$

تعداد ضرب های ماتریسی بلوک‌ها افزایش می‌یابد و این مطلب پس از مدتی بر کاهش عرض پالس ساعت آرایه‌های روش HSSM غالب می‌گردد. بنابراین با توجه به منحنی‌های شکل (۹) می‌توان تعداد زیرماتریس‌های بهینه را برای رسیدن به کمترین زمان کل محاسبه به ازای مقدار مشخص N تعیین نمود. افزون براین، شکل (۹) نشان می‌دهد که روش HSSM برای ابعاد بزرگتر ماتریس‌ها موثرتر می‌باشد زیرا میزان کاهش زمان برای ابعاد کوچک ماتریس‌ها کمتر است. در انتها ذکر این نکته لازم است که در تقسیم‌بندی ماتریس‌ها می‌بایست تعداد تقسیمات سطری یا ستونی(S) طوری انتخاب گردند که ابعاد ماتریس‌های اصلی (N) به S قابل‌قسمت باشد. در ترسیم منحنی های شکل (۹) این نکته لحاظ نگردیده و منحنی به صورت تئوری برای محاسبه زمان اجرا به ازای تمام مقادیر S بطور پیوسته ترسیم شده است. از این رو برای یافتن بهترین مقدار S می‌بایست مقدار متناظر با حداقل منحنی‌های شکل (۹) را تعیین نموده و سپس از میان مقسوم الیه‌های N نزدیکترین مقدار به آن را یافت. به این ترتیب بهترین مقدار S که ابعاد ماتریس‌ها به آن بخش پذیر بوده و کمترین زمان عملیات را داشته باشد، مشخص می‌گردد.

ساختار آرایه های سیستولیکی روش HSSM

در این بخش آرایه سیستولیک بکار رفته در شکل(۵) طراحی می‌شود. برای طراحی ساختار آرایه بایستی ابعاد ماتریس‌ها مشخص باشد. نتایج بررسیهای انجام گرفته روی محیط شبیه سازی راداری (به ازای ۵ رادار مختلف) نشان می‌دهد در نظر گرفتن ۲۰۰ پالس در فریم شناسائی دقت خوبی را در شناسائی رشته پالس‌ها بدست می‌دهد. از این رو ماتریس‌های A وB در شکل (۵) دارای ابعاد ۲۰۰×۲۰۰ می‌باشند. همانطورکه در شکل (۹) دیده می‌شود بهترین مقدار S برای N=۲۰۰ مقدار ۲۰ است. بنابراین زیر ماتریس‌ها دارای ابعاد ۱۰×۱۰ خواهند بود. در این بخش آرایه های شکل (۵) برای N=۲۰۰ و s=۲۰ طراحی می‌شود. این آرایه‌ها دارای ساختاری مشابه می‌باشند از این رو در ادامه، طراحی یکی از آنها آورده خواهد شد. ماتریس های ورودی آرایه های سیستولیکی یاد شده دارای ابعاد ۱۰×۱۰ هستند از این رو ساختار سیستولیکی برای تعداد پالس ۱۰ طراحی شده است (شایان توجه است آرایه سیستولیک به ازای تعداد پالس ۱۰ طراحی شده ولی مشخصات و ارزیابی آرایه‌ها به ازای بردارهای نگاشت مختلف به ازای تعداد پالس N استخراج شده اند). برای طراحی آرایه سیستولیک ابتدا گراف وابستگی را رسم نموده و بسته به بردار نگاشت مورد نظر گراف وابستگی به گراف جریان سیگنال تبدیل می‌گردد و در نهایت عملیات نگاشت ورودی و خروجی انجام می‌شود [15-17]. بسته به مسئله و معادله بازگشتی آن بعد گراف وابستگی متفاوت خواهد بود (مثلا برای ضرب ماتریس در بردار گراف وابستگی دو بعدی و برای ضرب ماتریس در ماتریس گراف وابستگی سه بعدی می‌باشد). از این رو، با عمل نگاشت که با توجه به بردار نگاشت انجام می‌گیرد یک بعد گراف وابستگی کم می‌گردد و آرایه حاصله همان گراف جریان سیگنال خواهد بود. بردارهای نگاشت مختلفی را می‌توان برای طراحی آرایه سیستولیکی یاد شده استفاده کرد. مشخصات گراف وابستگی برای ضرب ماتریسی که توسط برنامه شبیه ساز تهیه شده، به صورت زیراست.

در این تحقیق، همانطور که گفته شد آرایه های سیستولیکی برای بردارهای نگاشت مختلف به ازای تعداد پالس ده طراحی شده است ولی برای نمایش ساختار عمومی آرایه ها، شکل (۱۰) به ازای تعدادپالس سه ترسیم شده است. مشخصات آرایه های سیستولیک طراحی شده به ازای بردارهای نگاشت مختلف استخراج شده و در جدول (۲) آمده است (این جدول برحسب ابعاد ماتریس (N) داده شده است). آرایه های سیستولیک توسط پارامترهای تعداد سلول‌ها

```
Computation sets:
    Pin(Ain)={(i,max(1,k-Pb+1)-1,k)←a(i,k) | 1≤k,i≤N, i-k≤Pa-1 , k-i≤Qa-1}
    Pin(Bin)={(max(1,k-Qa+1)-1,j,k)←b(k,j) | 1≤k,j≤N, j-k≤Qb-1 , k-j≤Pb-1}
    Pin(Cin)={(i,j,min(N,i+Qa-1,j+Pb-1)+1)←cin(i,j) | 1≤i,j≤N, j-i≤Qc-1 , i-j≤Pc-1}
    Pin(Cout)={(i,j,max(0,i-Pa,j-Qb))←cout(i,j) | 1≤i,j≤N, j-i≤Qc-1 , i-j≤Pc-1}
    Pint={(i,j,k))←NODE(i,j,k) | 1≤k≤N, max(1,k-Qa+1)≤i≤min(N,Pa+k-1), max(1,k-Pb+1)≤j≤min(N,Qb+k-1)}

Node description:
    NODE(p):=
      x1(p)=x1(p-(1,0,0))
      x2(p)=x2(p-(0,1,0))
      x3(p)=y(p-(0,0,-1))
      y=x3+x1*x2

Data flows:
    flow(Ain)=(0,1,0)
    flow(Bin)=(1,0,0)
    flow(Cin)=(0,0,-1)
    flow(Cout)=(0,0,-1)

Connected variables:
    var(Ain)=x2
    var(Bin)=x1
    var(Cin)=y
    var(Cout)=y

Range plane:
    i+j-k+min(Pb,Qa)-2=0
```

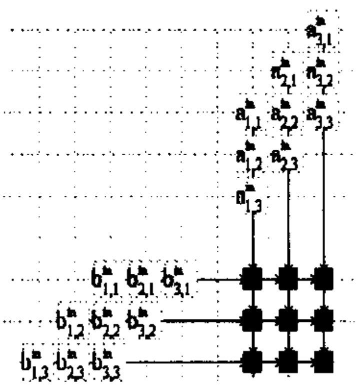
(A) ، تعدادپالس ساعت (T) ، AT و AT^2 ارزیابی می‌شوند[15-17]. پارامترهای ارزیابی برای آرایه های بدست آمده به ازای بردارهای نگاشت مختلف برحسب ابعاد ماتریس(N)، محاسبه شده و در جدول (۳) آورده شده است. (پارامترهای این جدول (۲) و (۳) از روی آرایه های مختلف بدست آمده به ازای مقادیر مختلف N استخراج شده و سپس به تمام مقادیرN تعمیم داده شده اند). آرایه حاصله از بردار نگاشتی بهتر است که مقادیر پارامترهای ارزیابی آن کمتر از بقیه باشد. بنابراین بر اساس جدول‌های (۲) و (۳) آرایه های بدست آمده به ازای بردارهای نگاشت، (0,0,1) ، (0,1,0) و (1,0,0) دارای کمترین تعداد سلول پردازشگر و پارامترهای ارزیابی بهتر می‌باشند (پارامترهای ارزیابی ارایه حاصل از این سه بردار نگاشت از بقیه کمتر می‌باشد). به این ترتیب، برای ادامه طراحی می‌توان از یکی از این سه بردار نگاشت استفاده نمود. در این تحقیق طراحی با بردار نگاشت ، (0,0,1) انجام گرفت. سلول‌های آرایه های شکل (۱۰) دارای ساختاری مشابه می‌باشند. هر سلول این آرایه‌ها دارای سه ثبات(X1 ، X2 ، X3)، یک واحد ضرب کننده و یک واحد جمع کننده می‌باشد. شکل (۱۱) شمای طبقاتی سلول را نشان می‌دهد. شکل (۱۲) محدوده های زمانی فعالیت سلول‌های هر آرایه شکل(۵)(با بردار نگاشت (0,0,1)) را برای انجام عملیات محاسبه ماتریس شناسائی رشته پالس نشان می‌دهد. در این شکل ستون‌های اول و دوم سمت چپ بترتیب شماره سلول و موقعیت سلول در مختصات XY است و سطر اول نیز نشان دهنده شماره پالس ساعت اعمالی به آرایه سیستولیک می‌باشد. با توجه به شکل یاد شده موازی عمل نمودن سلول‌ها کاملا مشهود است به عنوان مثال، در هفتمین پالس ساعت نوزده سلول عملیات انجام می‌دهند.

جدول۲ مشخصات آرایه های سیستولیک طراحی شده برای بردارهای مختلف نگاشت

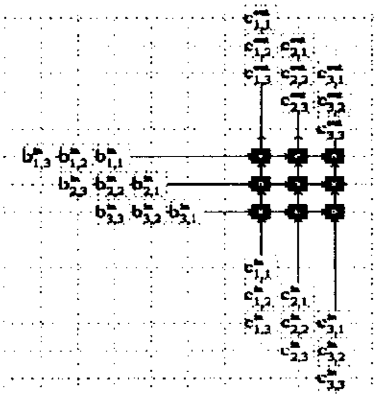
	فاصله لوله ای (Pipline interval)	ورودی هاوخروجیهای خارجی(External I/O)	افزایش سرعت (Speedup)	کارائی (Effectiveness)
(0,0,1)	۱	$2N$	$\frac{N^3}{3N-2}$	$\frac{N}{3N-2}$
(0,1,0)	۱	$3N$	$\frac{N^3}{3N-2}$	$\frac{N}{3N-2}$
(1,0,0)	۱	$3N$	$\frac{N^3}{3N-2}$	$\frac{N}{3N-2}$
(1,1,0)	۲	$6N-2$	$\frac{N^3}{3N-2}$	$\frac{N^3}{(3N-2)(2N^2-N)}$
(0,1,-1)	۲	$5N-1$	$\frac{N^3}{3N-2}$	$\frac{N^3}{(3N-2)(2N^2-N)}$
(-1,0,1)	۲	$5N-1$	$\frac{N^3}{3N-2}$	$\frac{N^3}{(3N-2)(2N^2-N)}$
(1,1,1)	۱	$8N-4$	$\frac{N^3}{3N-2}$	$\frac{N^3}{(3N-2)(3N^2-3N+1)}$
(1,-1,1)	۱	$8N-4$	$\frac{N^3}{3N-2}$	$\frac{N^3}{(3N-2)(3N^2-3N+1)}$
(-1,1,1)	۱	$8N-4$	$\frac{N^3}{3N-2}$	$\frac{N^3}{(3N-2)(3N^2-3N+1)}$
(1,1,-1)	۳	$8N-4$	$\frac{N^3}{3N-2}$	$\frac{N^3}{(3N-2)(3N^2-3N+1)}$

جدول ۳ مقادیر بدست آمده برای پارامترهای ارزیابی آرایه های سیستولیک به ازای بردارهای نگاشت مختلف

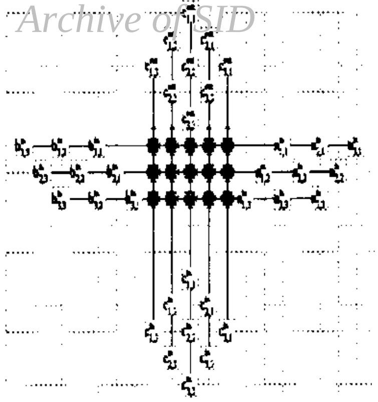
	تعدادسلولها A	تعدادپالس ساعت T	AT	AT^2
(0,0,1)	N^2	$3N-2$	$3N^3-2N^2$	$9N^4-12N^3+4N^2$
(0,1,0)	N^2	$3N-2$	$3N^3-2N^2$	$9N^4-12N^3+4N^2$
(1,0,0)	N^2	$3N-2$	$3N^3-2N^2$	$9N^4-12N^3+4N^2$
(1,1,0)	$2N^2-N$	$3N-2$	$6N^3-7N^2+2N$	$18N^4-33N^3+20N^2-4N$
(0,1,-1)	$2N^2-N$	$3N-2$	$6N^3-7N^2+2N$	$18N^4-33N^3+20N^2-4N$
(-1,0,1)	$2N^2-N$	$3N-2$	$6N^3-7N^2+2N$	$18N^4-33N^3+20N^2-4N$
(1,1,1)	$3N^2-3N+1$	$3N-2$	$9N^3-15N^2+9N-2$	$27N^4-63N^3+57N^2-24N+4$
(1,-1,1)	$3N^2-3N+1$	$3N-2$	$9N^3-15N^2+9N-2$	$27N^4-63N^3+57N^2-24N+4$
(-1,1,1)	$3N^2-3N+1$	$3N-2$	$9N^3-15N^2+9N-2$	$27N^4-63N^3+57N^2-24N+4$
(1,1,-1)	$3N^2-3N+1$	$3N-2$	$9N^3-15N^2+9N-2$	$27N^4-63N^3+57N^2-24N+4$



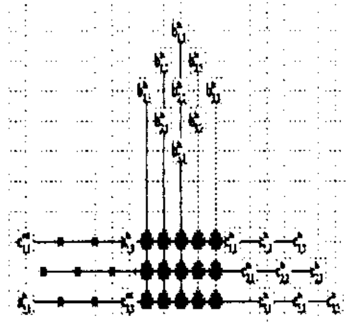
آرایه سیستولیک با بردار نگاشت ، (0,0,1)



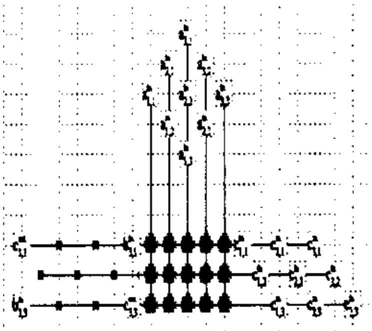
آرایه سیستولیک با بردار نگاشت ، (0,1,0)



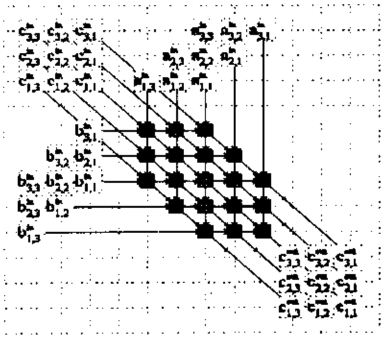
آرایه سیستولیک با بردار نگاشت ، (1,1,0)



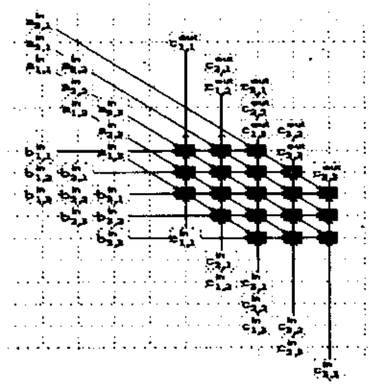
آرایه سیستولیک با بردار نگاشت ، (0,1,-1)



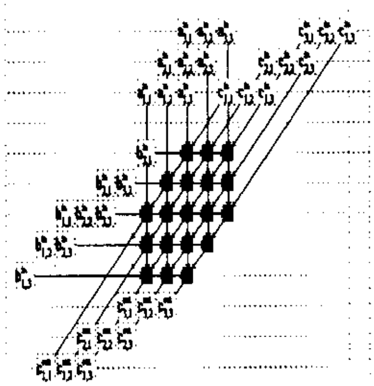
آرایه سیستولیک با بردار نگاشت ، (-1,0,1)



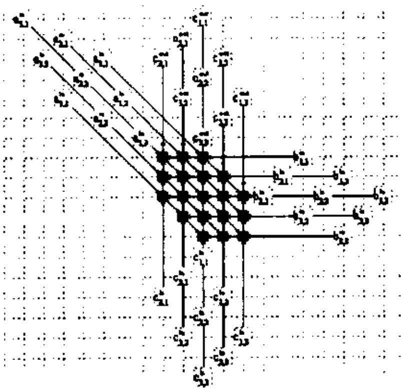
آرایه سیستولیک با بردار نگاشت ، (1,1,1)



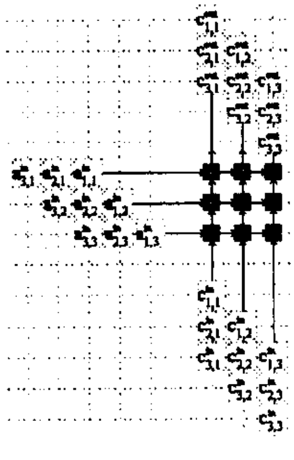
آرایه سیستولیک با بردار نگاشت ، (1,-1,1)



آرایه سیستولیک با بردار نگاشت ، (-1,1,1)

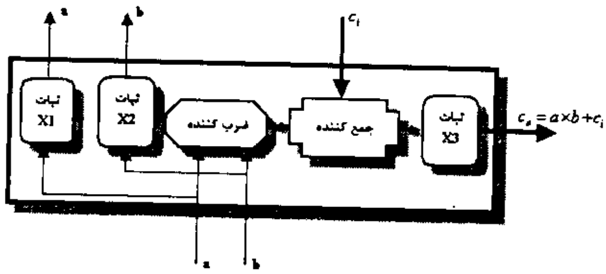


آرایه سیستولیک با بردار نگاشت ، (1,1,-1)

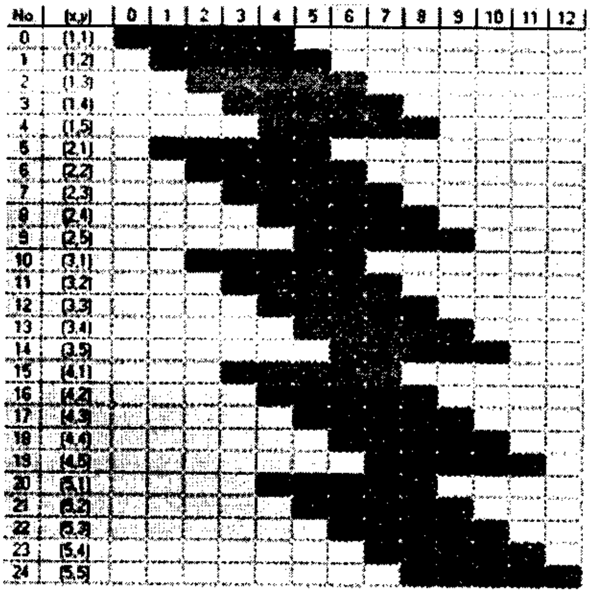


آرایه سیستولیک با بردار نگاشت ، (1,0,0)

شکل ۱۰ نمایش ساختار عمومی آرایه های سیستولیک طراحی شده برای شکل ۵ به ازای تعداد پالس ۳



شکل۱۱ شمای طبقاتی سلول بکار رفته در شکل ۱۰



شکل ۱۲ محدوده زمانی فعالیت سلول‌های آرایه سیستولیکی(با بردار نگاشت ،(0,0,1))

ارزیابی پیاده سازی روش پیشنهادی با پردازنده آرایه ای طراحی شده

کارائی الگوریتم‌های شناسائی بر اساس حجم محاسبات و امکان موازی سازی عملیات آنها ارزیابی می‌گردد. در الگوریتم پیشنهادی، معکوس ماتریس هارمونیک برای تعداد پالس‌های مشخص یکبار محاسبه می‌شود و سپس بدفعات از آن استفاده می‌گردد. جدول (۴) حجم محاسبات روش پیشنهادی را چنانچه عملیات آن با تک پردازنده انجام گیرد نشان می‌دهد. همانطور که در این جدول آمده است برای انجام کل عملیات روش پیشنهادی تقریبا به $3.5N^2$ پالس ساعت نیاز است. به عبارت دیگر حجم کل محاسبات الگوریتم پیشنهادی با توان دوم N (تعداد پالس‌ها) متناسب است، این در حالی است که روش‌های قبلی بکار گرفته شده در

سیستم‌های‌شناسائی راداری دارای حجم محاسبات با توان سوم N متناسب بوده‌اند. بنابراین حتی اگر روش پیشنهاد شده با تک پردازنده به اجرا در آید نسبت به روش‌های قبلی موثرتر است ولی برای افزایش بیشتر سرعت از پردازنده آرایه ای برای انجام عملیات آن استفاده شد که زمان انجام محاسبات را بشدت پائین آورد. جدول (۵) حجم عملیات لازم برای انجام محاسبات در صورت استفاده از آرایه سیستولیک (طراحی شده در بخش قبل) را نشان می‌دهد. مطابق جدول (۵) تعداد پالس ساعت لازم برای انجام محاسبات شناسائی رشته پالس‌ها با روش پیشنهادی و پیاده سازی آن توسط پردازنده آرایه ای متناسب با تعداد پالس‌ها (N) است.

جدول ٤ حجم محاسبات روش پیشنهادی

نوع عملیات	حجم محاسبات
محاسبه ΔTOA	$\frac{N(N-1)}{2}$
محاسبه PTI	$3N^2$
مقایسه عناصر قطر اصلی	$\approx N$
کل محاسبات	$3.5N^2 + 0.5N \approx 3.5N^2$

جدول ۵ حجم محاسبات(تعداد پالس ساعت) لازم برای روش پیشنهادی در صورت پیاده سازی با پردازنده آرایه ای

نوع عملیات	حجم محاسبات
محاسبه ΔTOA	$3(\frac{N}{S})-2$
محاسبه PTI	$3(\frac{N}{S})-2$
مقایسه عناصر قطر اصلی	$\approx N$
کل پالس ساعت لازم	$6(\frac{N}{S})+N-4$

نتیجه گیری

در این مقاله یک الگوریتم موثر برای شناسائی رشته پالس‌ها ارائه گردید. و سپس چند آرایه سیستولیکی (بر اساس روش HSSM) برای انجام محاسبات آن بکار گرفته شد. نتایج بدست آمده از بکار گیری این الگوریتم و پیاده سازی آن با آرایه سیستولیک به صورت زیر است :

۱- حجم محاسبات و یا به عبارتی تعداد پالس ساعت لازم برای انجام عملیات روش پیشنهادی بطور متوالی تقریبا $3.5N^2$ است که در مقایسه با روش‌های قبلی کمتر می‌باشد و درحالت اجرا به صورت موازی (انجام عملیات با آرایه های سیستولیکی بر اساس HSSM) به $6(\frac{N}{S})+N-4$ تقلیل می‌یابد.

۲- روش پیشنهادی قادر است براحتی رشته پالس با تکنیک‌های فاصله تکرار پالس ثابت، فاصله تکرار پالس استگر و فاصله تکرار پالس جیتر را شناسائی نماید. در حالیکه روش های قبلی هیچکدام قادر به شناسایی همه تکنیک‌ها نیستند.

۳ - با روش پیشنهادی می‌توان در حالت استگر، فاصله تکرار پالس‌های جزء را بدست آورد. این مقادیر با کم کردن عناصر قطر اصلی از عناصر قطر بالاتر از قطر اصلی بدست می‌آیند. درصورتیکه روش های قبلی هیچکدام قادر به محاسبه این مقادیر نیستند.

در ادامه این تحقیق می‌توان روش‌های ماتریسی که برای خوشه بندی استفاده می‌شوند را بکار گرفت و از یک آرایه سیستولیکی یکپارچه برای انجام کل عملیات خوشه بندی و شناسائی استفاده نمود.

مراجع

1. Shahhoseini, H. S., Naseri, and A., Naderi, M., " Matrix Multistage Clustering of Interleaved Pulse Train", *IASTED International Conference , Signal Processing, Pattern Recognition and Application ,Greece* , pp. 98-101, June(2002).

2. Shahhoseini, H. S., Naseri, and A., Naderi, M., "A New Matrix Method for Pulse Train Identification", *IEEE proceedings , MELECON* ,pp. 183-187, (2002).

3. Conroy, T., and Moore, J. B., "On The Estimation of Interleaved Pulse Train Phases", fifth international symposium on signal processing and its applications, ISSPA, 99, Brisbane , Australia , pp. 223-226, 22-25 August, (1999).

4. Logothetis, A., and Krishnamurthy, V. , "An Interval – Amplitude Algorithm for Deinterleaving Stochastic Pulse Train Sources" , *IEEE transactions on signal processing*, vol. 46, No. 5, pp. 1344-1350, May, (1998).

5. Orsi, R. J., Moore, J. B., and Mahony, R. E., "Interleaved Pulse Train Spectrum Estimation ", International symposium on signal processing and its applications, ISSPA, Gold Coast, Australia, pp. 125-128, 25-30 August, (1996).

6. Sadler, B. M., and Casey, S. D., "PRI Analysis From Sparse Data via a Modified Euclidean Algorithm", *IEEE proceedings of ASILOMAR* – 29, pp 1147-1151, (1996).

7. Perkins, J., and Coat, I., "Pulse Train Deinterleaving via The Hough Transform", *IEEE International conference on signal processing*, vol.3, pp. 197- 200, (1994).

8. Moore, J. B., and Krishnamurthy, V., "Deinterleaving Pulse Trains Using Discrete–Time Stochastic Dynamic Linear Models." , *IEEE transaction on signal processing*, vol. 42 , No. 11, pp. 3092-3103, November, (1994).

9. Milojevic, D. J., and Popovic, B. M., "Improved Algorithm for the Deinterleaving of Radar Pulses" , *IEEE proceedings. F*, vol. 1, pp. 98-104, february, (1992).

10. Mardia, H. K., "New Techniques for the Deinterleaving of Repetitive Sequences", *IEE proceedings*, Vol. 136 , No.4 , pp. 149-154, August, (1989).

11. Tasic, J. F., and Zajc, Kosir, A., "Comparison of Some Parallel Matrix Multiplication Algorithms", Proceedings of 8 Mediterranean Electronical Conference (MELECON Bari), pp. 155-158, (1996).

12. Strassen, V., "*Gaussian Elimination is Not Optimal*," Numerische Mathematik, Vol. 13, pp. 354-356, (1969).

13. Keqin, Li, and Victor, Y. pan , " Parallel Matrix Multiplication on a Linear Array with a Reconfigurable Pipelined Bus System," *IEEE Transaction on Computers* , vol. 50 , No. 5, pp. 519-525, May, (2001)

14. Shek-Wayne Chan , and Chin-Long Wey, "The Design of Concurrent Error Diagnosable Systolic Arrays for Band Matrix Multiplications," *IEEE Transaction on Computer Aided Design*, Vol. 7, No. 1, pp. 21- 37 , January, (1988).

15. Ozimek, I., Verlic, R., and Tasic, J., " Optimal Scheduling for Fast Systolic Array Implementations" *European Design and Test Conference 97*, pp. 620-623,(1997).

16. Milovanovic, I. Z., Tokic, T.I., Stojcev, M .K., Milovanovic, E . I., and NovaKovic, N.M. ," Mapping Matrix Multiplication Algorithm on to Optimal Fault – Tolerant Systolic Array", *IEEE Transaction on Computers* , pp. 711 –714 , (1999).

17. Johnson, K. T., Hurson, A. R., and Shirazi, B., "General-Purpose Systolic Arrays", *IEEE computer Conference*, Vol. 26, No. 11, pp. 20-31, November, (1993).