Journal of Nature, Life and Applied Sciences
Volume (3), Issue (4): 30 Dec 2019
P: 16 - 29

AJSRP
ISSN: 2522-3356

مجلة العلوم الطبيعية والحياتية والتطبيقية
المجلد (3)، العدد (4): 30 ديسمبر 2019 م
ص: 16 - 29

Accurate Analysis of Double Ten Bar Mechanism Linked by one joint

Salem Nazih Salem

Mustafa Rafik Hasan

Faculty of Science || Al-Baath University || Syria

Abstract: Most of companies wish to decrease maintenance and on the other hand having the same target with low weight and no friction although it may cost more, when a machine is built. Using flexural (also flexure) hinges in a system, at least, leads to all of these advantages. Considering a planar mechanical system consists of double ten bar mechanism with revolute joints, we replace each revolute joint with super elastic hinge. Doing so, we have a gate to build a system, strongly recommended, to achieve the same goal using minimum energy. The main purpose of this paper is to elaborate a mathematical apparatus able to estimate the deviations of the considered system before and after replacing revolute joints taking into account the real performance of the novel system through large bending displacements in the flexure (flexural) hinges.

Keywords: flexure (flexural) hinges, mechanical system, revolute joints.

التحليل الدقيق للآلة العشارية المضاعفة بوصلة ذات مفصل ثابت

سالم نزيه سالم

مصطفى رفيق حسن

كلية العلوم || جامعة البعث || سوريا

الملخص: ترغب أكثر الشركات بتقليل أعمال الصيانة والمحافظة على إمكانية إنجاز نفس الهدف بوزن أقل وبدون احتكاك ولو كان ذلك أكثر كلفة، عند تصنيع أي آلة. هذه المتطلبات تتحقق باستخدام المفاصل المرنة في منظومة ما كحد أدنى. لدينا منظومة ميكانيكية مستوية مكونة من آلة عشارية مضاعفة وبمفاصل دورانية، نبدل المفاصل الدورانية بمفاصل عالية المرونة. يقود ذلك لإمكانية بناء منظومة متينة تنجز نفس الهدف باستخدام أدنى حد للطاقة. إن الهدف الرئيسي للعمل هو بناء خوارزمية رياضية قادرة على تقييم الإزاحات للمنظومة المعتبرة قبل وبعد التبديل آخذين بعين الاعتبار أن المنظومة الجديدة ينتج عنها إزاحات إضافية (ناتجة عن المرونة العالية) كبيرة.

الكلمات المفتاحية: منظومة ميكانيكية، مفاصل دورانية، مفاصل مرنة.

المقدمة:

تعيق ظروف التشغيل إمكانية استخدام آلة واحدة لتحقيق النتيجة المطلوبة. على سبيل المثال، بسبب ضيق المساحة، أو غير ملائمة نقطة رفع الثقل أو النقطة المراد نقل القوة إليها بعد مضاعفتها، أو أن يكون مقدار القوة المطلوبة كبير فيتطلب ذراع بطول كبير جدًا. لذا تستخدم في هذه الحالات تركيبة من عدة آلات، تسمى آلة مركبة. يُعرف المفصل المرن أو المحور المرن للدوران (المركز المرن للدوران في الحركة المستوية)، على أنه جزء مرن

بقياسات صغيرة يربط بين جسمين صلبين، يتيح للجسمين القيام بحركة دورانية نسبية محدودة ضمن آلة معينة [1].

أما المفصل الدوراني يتيح هذا النوع من المفاصل للجسم المتحرك بوساطته الدوران حول محور ثابت بزاوية مستوية محددة.

ونجد هذا النوع من المفاصل في جسم الإنسان في مفصل الكوع والركبة حيث يسمح هذا النوع من المفاصل بالحركة في مستوي واحد أي الثني والمد.

يوجد بشكل عام ثلاثة أنواع لهذه الآلات في المراجع العلمية وهي:

1- آلات مرنة تحوي مفاصل مرنة وأجسام صلبة.
2- آلات مرنة تحوي مفاصل تقليدية وأجسام مرنة.
3- آلات مرنة بشكل كامل (من دون أجزاء صلبة).

إن توفر مفصل مرن ضمن آلة، يجعلها واحدة من الأنماط الثلاثة السابقة وبالتحديد النوع الأول، أي عندما يكون لدينا آلة ذات أجسام صلبة ومفاصل مرنة.

إن المفاصل المرنة تعطي انسيابية في الحركة فتتحرك الآلة كجسم واحد، لا تحتاج لأية صيانة، لا تعاني من أي احتكاك، طويلة الأمد، خفيفة الوزن، سهلة التصنيع.

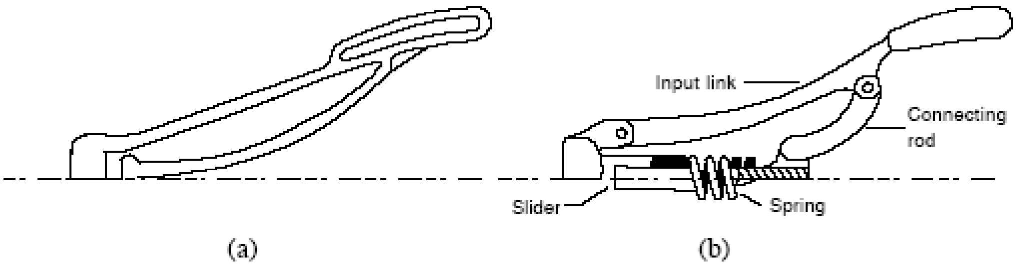
نتيجة التطور السريع في صناعة المنظومات الميكانيكية ذات الأجزاء الدقيقة، من المرغوب به تقليل الإنفاق في مصاريف إنتاجها وإصلاحها بسبب الاحتكاك. كما أنه من الأهمية أن تنجز الآلة العمل المبنية من أجله بوزن أقل وبدون وجود احتكاك.

يمكن تحقيق جميع الأهداف السابقة عن طريق بناء الآلة كجسم واحد باستخدام المفاصل عالية المرونة

إن الهدف الأساسي للبحث وضع مخطط للآلة الناتجة من الوصل وحساب عدد الأجسام وعدد المفاصل ووضع مخطط للآلة الناتجة باستخدام نظرية البيان وحساب مصفوفات التركيب والتي تفيد في حساب مصفوفة أنصاف الأقطار المتجهية لتعيين موضع أي نقطة من الآلة وكذلك حساب الإنزياحات الناتجة من تبديل المفاصل الدورانية بمفاصل مرنة.

مشكلة البحث:

لا شك أن أهمية تقليل أعمال الصيانة مع المحافظة على إمكانية انجاز نفس الهدف بوزن أقل وبدون احتكاك، بكونها حاجة ملحة في التطبيقات الصناعية. تعتبر الميزات التي ذكرناها سابقاً ذات أهمية خاصة عند التطبيق وخاصة أن الآلة غالباً ما تكون في وسط يعرضها للاهتراء السريع (عوامل الطقس وما شابه). إن تقليل عدد الأجزاء يمكن أن يزيد في دقة الآلة لقلة أو انعدام ردود الأفعال العكسية، ويعتبر هذا العامل في غاية الأهمية في أجهزة الدقة العالية. كما أن ذلك ينعكس جمالياً على الآلة ويجعلها أكثر جاذبية للاستخدام وهذا ما نلاحظه (مثلاً) في كسارة البندق (الشكل.1). ونذكر أن تطبيقات هذا البحث تدخل في مجال هندسة التصميم الميكانيكي.



شكل. (1) يبين هذا الشكل آلة كسر البندق المرنة (a) ونظيرتها التقليدية.(b)

تدل التجربة على أن استخدام المفاصل المرنة في منظومة ما يحقق جميع هذه الفوائد كحد أدنى. في هذ البحث لدينا منظومة ميكانيكية مستوية مكونة من الآلة العشارية المضاعفة. نبدل المفاصل الدورانية بمفاصل عالية المرونة لنحصل على منظومة متينة تنجز نفس الهدف بأدنى حد للطاقة.

نريد إيجاد الإنزياحات الناتجة عن تبديل المفاصل الدورانية بمرنة، ويلزم ذلك إيجاد الموضع لنقطة اختيارية من جسم اختياري في الحالتين قبل وبعد التبديل مستخدمين في ذلك الميكانيك التقليدي وميكانيك المرونة بالإضافة إلى نظرية البيان والجبر الخطي. إن المفاصل المرنة تعطي انسيابية في الحركة فتتحرك الآلة كجسم واحد، لا تحتاج لأية صيانة، لا تعاني من أي احتكاك، طويلة الأمد، خفيفة الوزن، سهلة التصنيع.

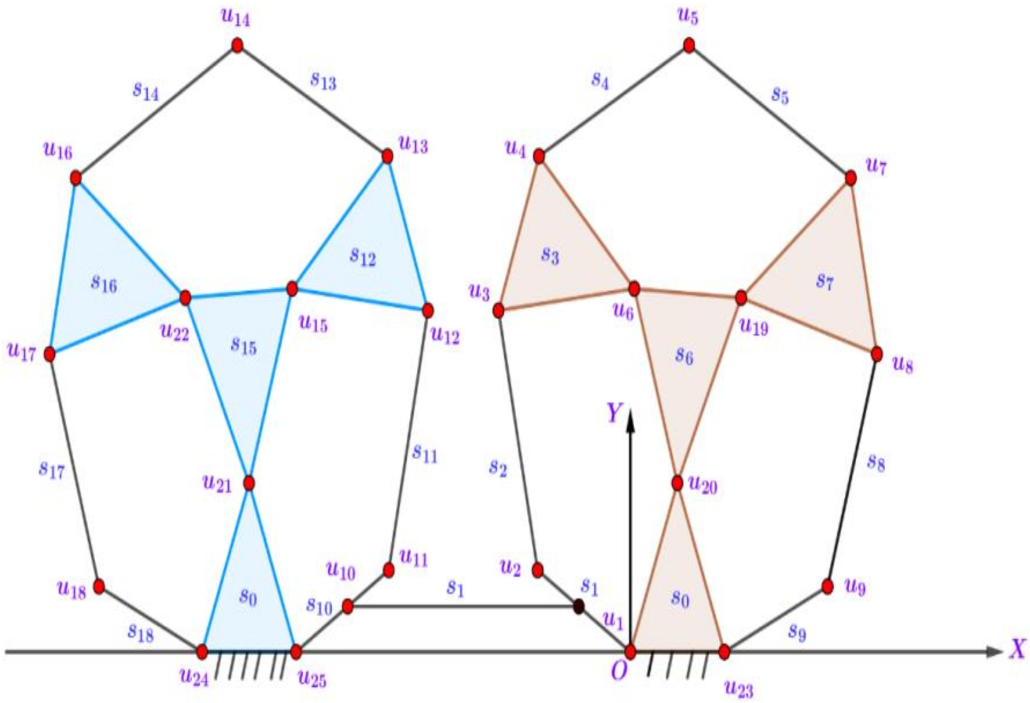
إن هذه الميزات تجعل استخدامها يزداد يوماً بعد يوم وهذا ما يقود إلى الاهتمام ببناء نظرية متكاملة حول هذا الإطار.

مواد البحث وطرائقه:

يندرج البحث ضمن ميكانيك الأجسام الموجهة ونناقش فيه موضوع التحليل الدقيق لمنظومة مستوية مكونة من الآلة العشارية المضاعفة علماً أن الآلة العشارية مكونة من عشرة أجسام بما فيها الجسم الثابت واثني عشر مفصل. وتتولد المنظومة من إضافة آلة عشارية إلى أخرى عشارية من خلال وصلة قد تكون متمفصلة من الجهتين مع الجسمين المتجاورين أو متمفصلة من جهة واحدة أو بدون مفاصل (وصلة ثابتة من الجهتين).

نهتم الآن في الحالة التي تكون فيها الوصلة بمفصل واحد. تتميز المفاصل في هذه المنظومة بأنها دورانية فقط (لا توجد مفاصل انسحابيه). إن المنظومة الناتجة عن دمج الآلتين السابقتين تتكون تسعة عشر جسماً مرقمة من الصفر (الجسم الثابت) وحتى الرقم ثمانية عشر، ومن خمسة وعشرين مفصلاً.

نرمز للأجسام بالرمز s_{i} حيث $i = 0,1,\dots,18$



شكل (2) آلة عشارية بوصلة أحادية المفصل

نرمز للمفاصل بالرمز u_a حيث a=1,2,....,25 و في كل مفصل نعتبر الجسم ذي الرقم الأدنى ثابتاً نسبياً وذي الرقم الأعلى متحركاً نسبياً. يمكننا الآن تعريف تابعين الأول $i^{+}(a)$ يدل على الجسم الثابت في المفصل a، والثاني $i^{-}(a)$ يدل على الجسم المتحرك في المفصل a. ينتج لدينا بحسب تعريف التابعين السابقين الجدول التالي:

الجدول (1) قيم التابعين $i^{\pm}(a)$

a	$i^{+}(a)$	$i^{-}(a)$
1	0	1
2	1	2
3	2	3
4	3	4
5	4	5
6	3	6
7	5	7
8	7	8
9	8	9
10	1	10
11	10	11
12	11	12

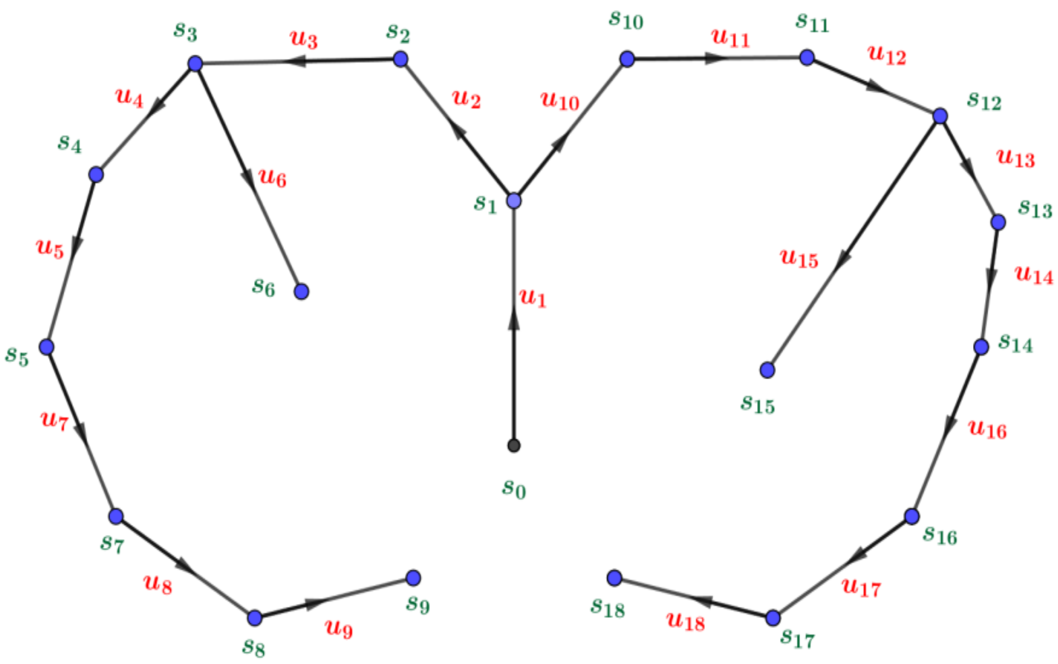
a	$i^+(a)$	$i^-(a)$
13	12	13
14	13	14
15	12	15
16	14	16
17	16	17
18	17	18
19	6	7
20	0	6
21	0	15
22	15	16
23	0	9
24	0	18
25	0	10

يلزمنا إيجاد بعض المصفوفات (مصفوفات التركيب) لوصف حركة المنظومة وهذه المصفوفات هي المصفوفة التسلسلية ومصفوفة الحلقات الأساسية ومصفوفة الطرق الناجعة.

لنوجد أولاً المصفوفة التسلسلية $\underline{I} = (S_{ia})$، والتي تُعرف بالشكل التالي:

$$S_{ia} = \begin{cases} 1\,;\, i = i^+(a) \\ -1\,;\, i = i^-(a) \\ 0\,;\, i \neq i^{\pm}(a) \end{cases}$$

وحيث a=1,2,.... ,25، $i = 0,1,\dots,18$



الشكل. (3) مصفوفة الطرق المباشرة

وتكون المصفوفة التسلسلية الموافقة للمنظومة المفروضة هي المصفوفة التالية (اعتماداً على القانون السابق والجدول.1 والشكل.2):

$$\underline{I}=\begin{bmatrix}
1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&1&0&1&1&1\\
-1&1&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&-1&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&-1&1&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&-1&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&-1&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&-1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&-1&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&0&-1&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&-1&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&0&0&-1&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&0&0&0&-1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&-1&0&0\\
0&0&0&0&0&0&0&0&0&-1&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&-1\\
0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&-1&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&-1&1&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&-1&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&-1&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&-1&0&0&0&0&0&-1&1&0&0&0\\
0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&-1&1&0&0&0&0&-1&0&0&0\\
0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&-1&1&0&0&0&0&0&0&0\\
0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&-1&0&0&0&0&0&-1&0
\end{bmatrix}$$

يمكننا كتابة المصفوفة التسلسلية بالشكل التالي:

$$\underline{I}=\begin{bmatrix}\underline{\overset{\vee}{S}}_0 & \underline{\hat{S}}_0\\ \underline{\overset{\vee}{S}} & \underline{\hat{S}}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\underline{S}_0\\ \underline{S}\end{bmatrix} \qquad \ldots\ldots(1)$$

$$\check{\underline{S}}_0 = (S_{0a})\ \ (a = 1,\dots,n);\ \ \hat{\underline{S}}_0 = (S_{0a})\ \ (a = n+1,\dots,m);\ \ \underline{S}_0 = (S_{0a})\ \ (a = 1,\dots,m);$$

$$\check{\underline{S}} = (S_{ia})\ \ (i, a = 1,\dots,n);\ \hat{\underline{S}} = (S_{ia})\ \ (i = 1,\dots,n; a = n+1,\dots,m);\ \ \underline{S} = (S_{ia})\ \ (i = 1,\dots,n; a = 1,\dots,m).$$

وفي حالتنا يكون m=25 ، n=18. ولنوجد الآن مصفوفة الحلقات الأساسية

ليكن لدينا $\Phi_{n+1}, \Phi_{n+2}, \dots, \Phi_m$ ، جملة من $\hat{n}$ حلقة أساسية تتعين من الأضلاع غير الهيكلية $u_{n+1}, u_{n+2}, \dots, u_m$. نختار كاتجاه موجب في الحلقة Φ_{n+i} الاتجاه من القوس u_{n+i} و $\underline{\Phi} = \left(\varphi_{\, n+i,\, b}\right)$ المصفوفة ذات المرتبة التالية: $\left(\begin{matrix}\hat{n} \times m\end{matrix}\right)$ ، تُدعى هذه المصفوفة بمصفوفة الحلقات الأساسية، حيث $(i = 1,\dots,\hat{n},\ b = 1,\dots,m)$:

$$\underline{\Phi} = (\varphi_{n+i,b});$$

$$\varphi_{n+i,b} = \begin{cases} 1 & ;\mathrm{u_b} \in \Phi_{n+i}, \mathrm{u_b}\ \text{with direction of}\ \mathrm{u_{n+i}} \\ -1 & ;\mathrm{u_b} \in \Phi_{n+i}, \mathrm{u_b}\ \text{not with direction of}\ \mathrm{u_{n+i}} \\ 0 & ;\ \mathrm{u_b} \notin \Phi_{n+i} \end{cases}$$

وفي حالتنا يكون $\hat{n} = \mathrm{m} - \mathrm{n} = 7$، m=25 ، n=18. إن التركيب الناتج ليس شجرياً وسوف نقتطع الأضلاع التالية $u_{19}, u_{20}, u_{21}, u_{22}, u_{23}, u_{24}, u_{25}$ وبذلك نحصل على بناء

الآن يمكننا إيجاد مصفوفة الحلقات الأساسية والتي هي المصفوفة التالية:

$$\underline{\Phi} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

نُعرف مصفوفة الطرق الناجعة من خلال الطرق الناجعة $[s_0, s_i]$ والواصلة بين الجسم $\mathrm{s_0}$ والأجسام الأخرى. نرمز لمصفوفة الطرق الناجعة

$$\underline{\psi} = (\psi_{ai});\ (a = 1, \dots, m\, ; i = 1, \dots, n)$$

$$\psi_{ai} = \begin{cases} 1; \mathrm{u_a} \in [\mathrm{s_0}, \mathrm{s_i}], \mathrm{u_a} \to \mathrm{s_0} \\ -1; \mathrm{u_a} \in [\mathrm{s_0}, \mathrm{s_i}], \mathrm{u_a} \leftarrow \mathrm{s_0}\ () \\ 0\ ;\ \mathrm{u_a} \notin [\mathrm{s_0}, \mathrm{s_i}] \end{cases}$$

حيث الرمز $\mathrm{u_a} \to \mathrm{s_0}$ يعني أن القوس باتجاه نحو الجسم الصفري

والرمز $\mathrm{u_a} \leftarrow \mathrm{s_0}$ يعني أن القوس باتجاه من الجسم الصفري. الآن بما أننا اقتطعنا الأضلاع ذوات الأرقام الأخيرة فيمكن حساب المصفوفة الأخيرة بطريقة أبسط وهي:

$$\underline{\psi} = \begin{bmatrix} \underline{T} \\ \underline{0}_{\hat{n} \times n} \end{bmatrix}; \hat{n} = m - n\, , \underline{T} = \underline{\check{S}}^{-1}\ \dots\dots\ (2)$$

$$\underline{T} = (\tau_{ai}), (a, i = 1, \dots, 18)$$

$$\underline{\Psi}=\begin{bmatrix}
-1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{bmatrix}$$

الجمل الإحداثية ومعادلات القيود:

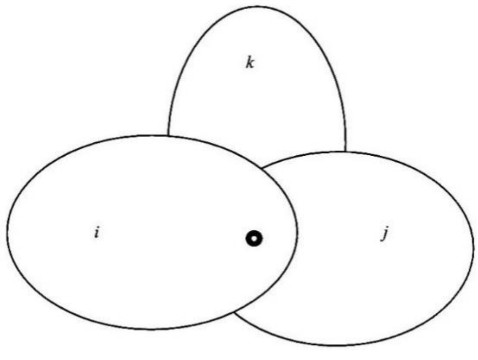
نُعرف في الجسم i جملة إحداثية $O_i x_i y_i z_i$ كما يلي:

نختار المحور z_i محوراً للدوران في الجسم i بحيث تكون جميع المحاور $z_i(i=1,\ldots,18)$ متوازية وعمودية على مستوى الحركة. نأخذ المحور السيني $x_i(i=1,\ldots,18)$ عمودياً على محوري الدوران في الجسمين المتجاورين ومتجهاً من محور الدوران ذي الرقم الأدنى إلى محور الدوران ذي الرقم الأعلى أما المحور العيني فهو يكمل الجملة إلى جملة يمينية ومتعامدة في نفس المفصل ضمن الطريق المباشر من S_0 إلى S_i. نأخذ النقط $c_i(i=1,\ldots,18)$ مراكزاً للجمل المتماسكة مع كل جسم

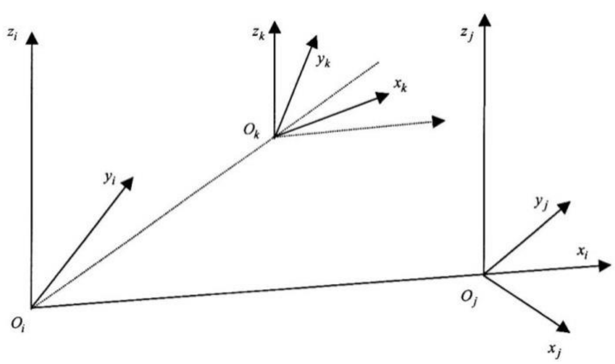
حيث نأخذها بداية كل جسم بدءاً من اليسار وللمحور السيني متجه واحدة يتجه من الجسم ذي الرقم الأدنى إلى الجسم ذي الرقم الأعلى ونرمز له بالرمز

$\vec{e}_1^{(i)}(i=1,\ldots,18)$ ومتجه الوحدة للمحور العيني $\vec{e}_2^{(i)}(i=1,\ldots,18)$ (وهو معلوم ولذلك لن نذكره).

بهذا الأسلوب نكون قد حصلنا على جمل متعامدة نظامية ومباشرة. نعرف الجملة الإحداثية المتعامدة والمباشرة في الجسم الثابت كجملة مطلقة الجملة التي مركزها O ومتجه وحدتها السيني $\vec{e}_1^{\,(0)}$ (لن نذكر متجه الوحدة الآخر لأنّه معروف فهو يكمل الجملة إلى جملة مستوية مباشرة نظامية ومتعامدة) كما هو موضح بالشكلين الخامس والسادس. نعرف الجمل الإحداثية في الأجسام الطرفية بشكل اختياري.



الشكل. (4) جملة إحداثية $O_i x_i y_i z_i$



الشكل. (5) جملة متعامدة نظامية

يتعين موضع الجسم ذو الرقم $i^-(a)$ بالنسبة للجسم القاعدة (الجسم الثابت في الحركة النسبية) $i^+(a)$ من خلال الزاوية $q_a = \angle\left(\mathbf{e}_1^{i^+(a)}, \mathbf{e}_1^{i^-(a)}\right)$.

في الآلة العشارية المضاعفة بوصلة ذات مفصل واحد

توصف الحركة النسبية في المفصل $a(a = 1, \dots 25)$ بواسطة الإحداثيات المعممة $q_a(a = 1, \dots 25)$.

في الحقيقة، إنَّ توفر حلقات مغلقة في بيان الآلة يقلص العدد الأصغري (الوسطاء المستقلة) للوسطاء اللازمة لوصف الحركة النسبية في الآلة (الشكل. 2).

لدينا سبع حلقات مغلقة

إيجاد الوسطاء المستقلة:

لنوجد الآن الوسطاء المستقلة للمنظومة المدروسة وذلك انطلاقاً من معادلات القيود:

ان كل حلقة مغلقة توفر ثلاث علاقات وإذا رمزنا للحلقة ب P فان عدد الوسطاء المستقلة التي تتعين بها حركة المنظومة يعطى بالعلاقة $m-3P$

لدينا في الآلة العشارية المضاعفة بوصلة ذات مفصل واحد سبع حلقات مغلقة وبالتالي فان عدد الوسطاء المستقلة التي تتعين بها المنظومة 4 وسطاء مستقلة

وهي $q_1 q_2 q_3 q_4$.

المنظومة بمفاصل مرنة:

لنبدل الآن كل مفصل دوراني في المنظومة المستوية المكونة من الآلتين العشاريتين، بمفصل مرن فنحصل على منظومة جديدة.

المفاصل المرنة ذوات أطوال صغيرة جداً بالمقارنة مع المفاصل الدورانية. لنفرض أن المنظومة كانت في الوضع: $\underline{q} = \underline{q}^{*}; \underline{q} = (q_1 q_2 \dots q_a)^T; a = 1,2, \dots . m$

في هذه الحالة سوف يحدث انزياح كما أننا نثبت المفصل المرن بحيث أن المركز الدوراني للمفصل قبل التبديل في منتصف المفصل (هذا لا يحد من عمومية المسألة).

ولهذا ستكون مسألة وصف الحركة النسبية في المفصلaعلى غاية من التعقيد

ولتسهيل الأمر علينا تعريف جمل إحداثية جديدة في كل جسم ويكون ذلك على الشكل التالي:

يتعين وضع الجسم $i^{-}(a)$ بالنسبة للجسم$i^{+}(a)$ من خلال نصف القطر المتجهيz_a وزاوية q_a بين المتجهين $\mathrm{e}_1^{i^{+}(a)}$ و $\mathrm{e}_1^{i^{-}(a)}$. ليس من الضرورة أن يكون المتجه z_a معيناً من مبدأي الجملتين $C_{i^{\pm}(a)}$ فيمكن اختيار هاتين النقطتين عادةً بحيث تقود إلى تسهيل الحسابات.

نثبت الآن المفصل المرن في الجسمين المتجاورين في نقطتين $\mathrm{c}_{i^{\pm}(a)a}$ وندعو هذه النقاط بالنقاط المفصلية حيث نرمز

$\mathrm{c}_{ia} = \overline{\mathrm{C}_i \mathrm{C}_{ia}}; (i = i^{\pm}(a), a = 1, \dots . . m)$، وهنا نعرف جمل إحداثية جديدة في النقاط $C_{i^{\pm}(a)}$ وبنفس الطريقة الموضحة أعلاه. نشير إلى أن الجملة $\underline{\mathrm{e}}^{i^{-}(a)}$ والمتجه z_a في الوصلة a تابعان للوسيط المختارللحركة النسبية أي:

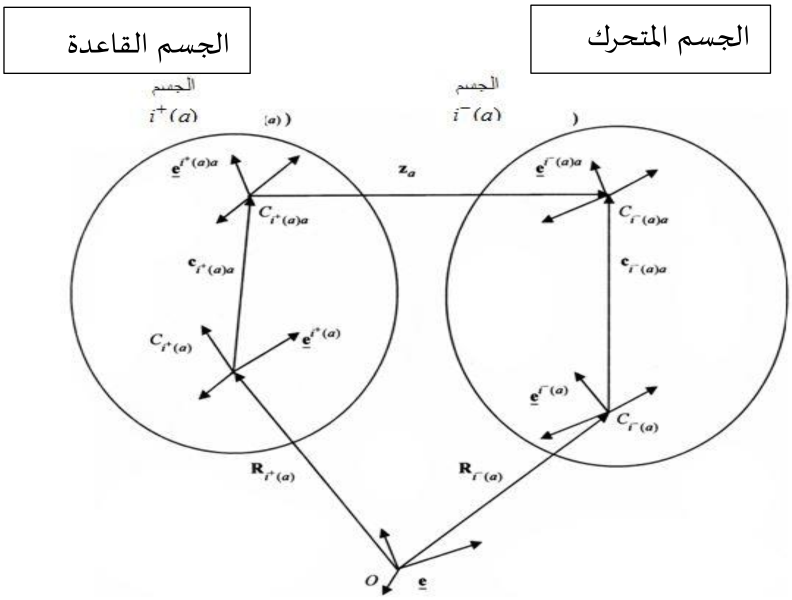
$$\mathrm{z}_a = \mathrm{z}_a(q_a) , \underline{\mathrm{e}}^{(i^{-}(a))} = \underline{\mathrm{e}}^{(i^{-}(a))}(q_a)$$

نختار النقاط المفصلية في نهايتي المفصل المرن والمحوران $\mathrm{e}_1^{i^{+}(a)}$ و $\mathrm{e}_1^{i^{-}(a)}$ موجهان على المفصل المرن قبل التشوه عند الوضع $\underline{q}^{*}$ وحيث نُعرف الزاويتين

$\alpha_a^{+} < (\mathrm{e}_1^{i^{+}(a)}, \mathrm{e}_1^{i^{+}(a)a})$ و $\alpha_a^{-} < (\mathrm{e}_1^{i^{-}(a)}, \mathrm{e}_1^{i^{-}(a)a})$ (قبل التشوه) وبفرض أن R_a هو المركز الآني للدوران عندئذ يكون لدينا متجه الموضع في الحالة الصلبة (الوضع قبل تبديل المفصل الدوراني بالمرن) معطى بالشكل (الشكل. 9):

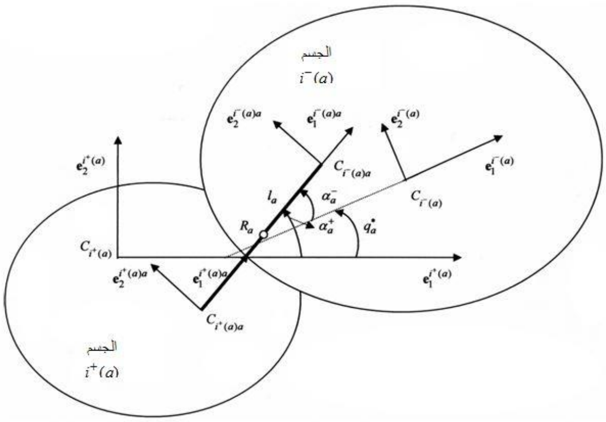
$$\overline{\mathrm{z}_a^{\mathrm{r}}} = \overline{\mathrm{C}_{i^{+}(a)a}\mathrm{C}_{i^{-}(a)a}} = \overline{\mathrm{C}_{i^{+}(a)a}R_a} + R_a\mathrm{C}_{i^{-}(a)a} =$$

$$\mathrm{z}_a^{\mathrm{r}} = \left(\frac{l_a}{2} + \frac{l_a}{2}\cos q_a\right)\mathrm{e}_1^{i^{+}(a)a} + \left(\frac{l_a}{2}\sin q_a\right)\mathrm{e}_2^{i^{+}(a)a}$$

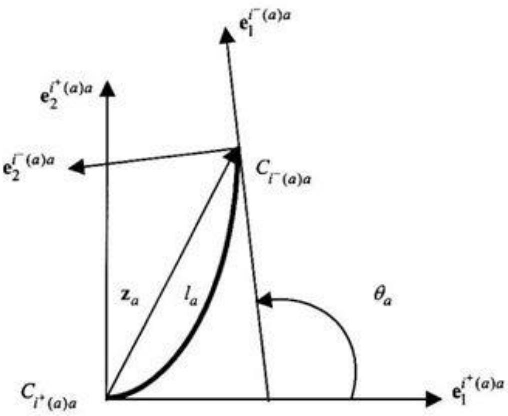


الشكل. (6) المفصل بين جسمين متجاورين

ندل بالرمز (r) على صفة الصلب وعلى الأجزاء الصلبة في الآلة الجديدة ونرمز لطول المفصل المرن l_a حيث $l_a \ll 1$. إن وجود المفاصل المرنة في المنظومة يحقق الحركة النسبية ويولد حركة إضافية.



الشكل. (7) المفصل المرن بين جسمين متجاورين



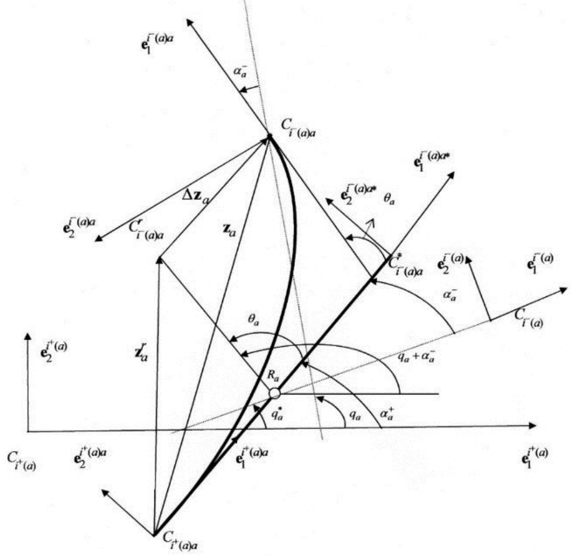
الشكل. **(8)**

يتعين وضع الجملة $C_{i^-(a)a}\mathrm{e}^{i^{-(a)a}}$ بالنسبة للجملة $C_{i^+(a)a}\mathrm{e}^{i^{+(a)a}}$ من خلال الزاوية:

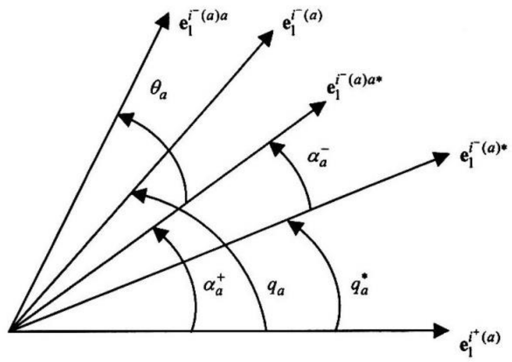
$\theta_a < (\mathrm{e_1}^{i^{+(a)a}}, \mathrm{e_1}^{i^{-(a)a}})$ والتي تمثل نفس الزاوية q_a ولكن في الوضع الجديد. من الواضح أن الزوايا المعرفة أعلاه ترتبط بعلاقة واضحة وهي

(الشكل. 9، الشكل. 10):

$$q_\mathrm{a} = \alpha_\mathrm{a}^+ + \theta_\mathrm{a} - \alpha_\mathrm{a}^- = \theta_\mathrm{a} + q_\mathrm{a}^*$$



الشكل. (9) العلاقة بين الزوايا المعرفة



الشكل. (10) يبين تطابق الوضعين قبل وبعد التبديل

نلاحظ أنه في الوضع $\theta_a = 0$ يتطابق الوضعين (قبل وبعد التبديل). الآن يتعين الوضع الانسحابي z_a للجملة $C_{i^-(a)a}e^{i^{-(a)a}}$ للمفصل المرن بالنسبة للجملة $C_{i^+(a)a}e^{i^{+(a)a}}$ بوساطة الزاوية θ_a بعلاقة معروفة سابقاً:

$$z_a = C_{i^+(a)a}C_{i^-(a)a} = f_a(\theta_a)e_1^{i^+(a)a} + g_a(\theta_a)e_2^{i^{+(a)a}}$$

لقد تم تعيين $f_a(\theta_a)$ و $g_a(\theta_a)$ في عدد من المراجع كما ويمكن تعيينهما.

بهذا يتعين الانزياح بين جسمين اختيارين متجاورين وفق العلاقة:

$$\Delta z_a = z_a - z_a^r = \left[f_a(\theta_a) - (\frac{l_a}{2} + \frac{l_a}{2}cosq_a)\right]e_1^{i^+(a)a} + \left[g_a(\theta_a) - \frac{l_a}{2}sinq_a\right]e_2^{i^{+(a)a}}$$

الخلاصة:

تم بناء نموذج رياضي قادر على وصف الإنزياحات في المنظومة قبل وبعد تبديل المفاصل الدورانية بمفاصل مرنة. ومن ثم أوجدنا مخططات الآلة الجديدة ومصفوفات التركيب، بالإضافة إلى ذلك، عرفنا جمل احداثية. وتم حساب عدد الوسطاء المستقلة التي تعين موضع أي نقطة من المنظومة (وضع المنظومة).

التوصيات:

في الحقيقة هنا لا بد من مناقشة المسألتين التاليتين للأهمية التطبيقية ومعرفة الفائدة والنتائج الجديدة من تغيير طريقة الوصل بين الآلتين:

1- التحليل الدقيق لمنظومة مستوية مكونة من الآلة العشارية المضاعفة بمفصل كروي.
2- دراسة ديناميكية الحركة لمنظومة مستوية مكونة من الآلة العشارية المضاعفة.
3- وصل ثلاث آلات عشارية بوصلة ذات مفصل واحد.

قائمة المراجع:

[1] Measurement [1]Motsinger, R. N. Flexural Devices in Measurement Systems, Chapter 11 in Engineering, by P. K. Stein, Stein Engineering Services, Phoenix, AZ, 1964.

[2]حسن، مصطفى،2011التحليل الدقيق لمنظومة ميكانيكية مستوية بمفاصل عالية المرونة و المولدة بالآلة الخماسية. مجلة جامعة البعث،29ص.

[3] حسن، مصطفى، 2012حساب انزياح منظومة مستوية مولدة بالآلة الخماسية مع مرونة عالية-الحالة الثانية -التمفصل من جهة واحدة فقط. مجلة جامعة البعث،27ص.

[4] حسن، مصطفى، 2013 حساب انزياح منظومة مستوية مولدة بالآلة الخماسية مع مرونة عالية-الحالة الثالثة-الوصل بلا مفاصل. مجلة جامعة البعث، 22ص.

[5] شاهين، ولاء " التحليل الدقيق للآلة السباعية المضاعفة "رسالة ماجستير منشورة، جامعة البعث، سوريا 2017.

[6] CHRISTOFIDES, N, 1975- Graph Theory: An Algorithmic Approach. Academic Press, New York, London, San Francisco,456p.

[7]حسن، مصطفى، 2007 التحليل الدقيق لمنظومة ميكانيكية مستوية وبمفاصل عالية المرونة. رسالة دكتوراه منشورة، جامعة البعث، سوريا، 120ص.

[8] HOWELL, L, 2001- Compliant Mechanisms., John Wiley Sons, New York-Chichester-Weinheim-Brisbane-Singapore-Toronto, Inc,512p.

[9] LOBONTIU, N, 2002- Compliant Mechanisms. Design of Flexural Hinges. CRC Press, Boca Raton-London-New York-Washington, D.C,544p.

[10] DADO, M.H, 2001 Variable Parametric Pseudo-Rigid-Body Model for Large Deflection Beams with End Loads, International Journal of Non-Linear Mechanics, Vol. 36, 1123–1133.

[11] Kimball, TSAI, L, 2002 Modeling of Flexural Beams Subjected to Arbitrary End Loads, ASME J. Mech. Des, Vol. 124 223–235.

[12] simulation of mechanisms, Atlas,2004.

[13] Murphy, M. D., A Generalized Theory for the Type Synthesis and Design of Compliant Mechanisms", PH.D. Dissertation, Purdue University, West Lafayette, IN,1993.

[14] Optimized five-bar linkages with non-circular gears for exact path generation.D. Mundo, G. Gatti, D.B Dooner, Mechanism and Machine Theory2009.

[15] Trends in the Development of Machinery and Associated Technology.TMT2008, Istanbul, Turkey,26-30 August,2008

[16] Kinematic analysis and synthesis of an adjustable six-bar linkage. Gordon Pennock Israr, Rice University. USA.2008.