# Analisis kinematik Mekanisme Paralel Spherical Dengan Konfigurasi Rantai Kinematik Revolut-Spherical-Revolut (RSR)

Syamsul Huda<sup>1,\*</sup>,Fauzan Hamdani<sup>2</sup>dan Mulyadi Bur<sup>3</sup>

<sup>1,2,2</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas

\*syamsulhuda@ft.unand.ac.id

### Abstrak

Kajian pada paper ini difokuskan pada analisis perpindahan untuk mekanisme paralel *spherical*. Mekanisme ini disusun oleh tiga buah rantai kinematik dengan konfigurasi join Revolut-*Spherical*-Revolut (RSR) yang menghubungkan *platform* sebagai batang output dengan *base* sebagai batang diam. Mekanisme ini dikategorikan sebagai mekanisme paralel tiga derajat kebebasan dimana gerak *platform* secara rotasi dikontrol oleh join aktif dan gerak translasi dibatasi oleh struktur mekanisme itu sendiri. Analisis perpindahan yang dilakukan pada paper ini ditujukan untuk memperoleh formulasi yang menyatakan hubungan antara perpindahan join aktif terhadap gerak *platform*. Berdasarkan riset yang telah dilakukan diperoleh persamaan matematis yang menyatakan hubungan perpindahan join input dan gerakan *platform* mekanisme 3-RSR yang dikembangan berdasarkan pada kondisi geometri mekanisme.

Kata kunci : Analisis Kinematik, Analisisi perpindahan, mekanisme spherical

### Pendahuluan

Mekanisme paralel spherical merupakan konfigurasi kinematik salah satu mekanisme ruang dimana *platform* sebagai batang batang output yang bergerak dengan modus rotasi murni ditopang oleh tiga rantai kinematik yang disusun secara Dalam hal ini susunan rantai paralel. kinematik yang dikaji adalah konfigurasi Spherical-Revolut-Revolut (RSR). Konfigurasi ini mempunyai keunggulan berupa kesederhanaan konfigurasi untuk menghasilkan kostrain gerak spherical. Gerak rotasi platform dikontrol oleh tiga aktuator yang ditempatkan pada base dan gerak translasi dibatasi oleh gaya konstrain yang dihasilkan oleh rantai kinematik.

Berbagai kajian terkait mekanisme paralel *spherical* telah banyak dilakukan baik dari segi pengembangan pada tahap sintesis dan analisis. Pada pengembangan struktur atau sintesis telah diusulkan berbagai konfigurasi mekanisme parallel atau sintesis topolgi [1],[2], [3]. Secara umum untuk menghasilkan gerak rotasi tersebut terutama *non-overconstrain* 

mechanisms harus dipenuhi kondisi dimana ada dua set konfigurasi sumbu join yaitu kondisi berpotongan dan kondisi sejajar. Namun untuk mekanisme 3-RSR hanya diperlu suatu kondisi yaitu berpotongan. Hal dapat mengurangi suatu konstrain kinematik sehingga memudahkan dalam tahap sintesis mekanisme paralel *spherical*. Dilain pihak sintesis dimensi terkait dengan penentuan dimensi konstanta kinematik juga dikembangkan untuk mendapatkan prototip atau model mekanisme [4],[5],[6]. Dalam proses sintesis telah dihasilkan metode yang khas untuk masing-masing mekanisme kerena terkait dengan konstrain konstanta kinematiknya. dan jumlah Kondisi ini menyebabkan satu metode tidak dapat berlaku secara umum. Kajian terkait dengan analisis posisi pada mekanisme paralel spherical juga telah banyak dikembangkan [7]-[10]. Sama halnya dengan penelitian terkait dengan sintesis dimensi analisis posisi juga sangat dengan konfigurasi bergantung rantai kinematik.

Berdasarkan fakta keunikan untuk merealisasikan mekanisme paralel dalam berbagai tahapan disain, maka pada penelitian ini dikaji analisis perpindahan pada mekanisme *spherical* 3-RSR. Mekanisme ini dari segi konfigurasi memiliki kesedarhanaan dalam konstrain gerak dimana hanya diperlukan kondisi sumbu join yang berpotongan untuk mendefinisikan lokasi titik pusat putar *platform*.

### Konfigurasi Mekanisme 3-RSR

Mekanisme paralel spherical ini disusun rantai kinematik tiga oleh yang menghubungkan platform dan base. kinematik Diagram mekanisme ini diperlihatkan pada Gambar 1. Tiap rantai kinematik disusun oleh tiga join berupa dua join revolut yang masing-masingnya menghubungkan rantai kinematik pada base dan platform dan sebuah join spherical yang menghubungkan kedua join revolut. Join revolut yang terhubung ke base merupakan join aktif.

Konstanta kinematik mekanisme terdiri dari  $L_1$  yang merupakan panjang batang yang menghubungkan join revolut pada *base* dan join *spherical*,  $L_2$  merupakan panjang batang yang menghubungkan join revolut pada *platform* dan join *spherical*,  $r_{\rm p}$ dan  $r_p$  yang menunjukkan jari-jari base. Selaniutnva terdapat dua konstanta kinematik lainnya vang menyatakan orientasi pemasangan rantai kinematik pada base dan *platform* yang disimbolkan dengan  $\alpha$  dan  $\beta$  . Keenam konstanta kinematik tersebut diperlihatkan pada Gambar 2.

Selanjutnya titik pusat putar *platform* ditentukan berdasarkan perpotongan sumbu join revolut pada *base* dan *platform* pada masing-masing rantai kinematik yang dinyatakan dengan titik O pada Gambar 2. Ketiga titik perpotongan tersebut juga berpotongan untuk menghasilkan pusat putar *platform* seperti ditunjukkan pada Gambar 3 dalam bentuk diagram Cad.





Gambar 2 Konstanta kinematik mekanisme paralel *spherical* 3-RSR

Gambar 1 Diagram kinematik mekanisme paralel spherical 3-RSR



Gambar 3 Model Cad mekanisme paralel *spherical* 3-RSR

#### Formulasi Pesamaan Perpindahan

#### Perpindahan join

Berdasarkan konstrain gerak translasi yang diberikan oleh tiga rantai kinematik telah menghasilkan *platform* yang bergerak rotasi murni terhadap titik pusat putar, O. Gerak rotasi tersebut dapat diwakili oleh rotasi berurut terhadap sistem koordinat benda dengan tiga sudut rotasi,  $(\xi_z, \xi_x, \phi)$ seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Sistem rotasi berurut ini menghasil suatu matriks rotasi koordinat benda yang dinyatakan dengan Pers. (1)

$$R = \begin{bmatrix} c\xi_z c\phi - s\xi_z c\xi_x s\phi & -c\xi_z s\phi - s\xi_z c\xi_x c\phi & s\xi_z s\xi_x \\ s\xi_z c\phi + c\xi_z c\xi_x s\phi & -s\xi_z s\phi + s\xi_z c\xi_x c\phi & -c\xi_z s\xi_x \\ s\xi_x s\phi & s\xi_x c\phi & c\xi_x \end{bmatrix}$$
  
....(1)  
dimana c(...) = cos(...) dan s(...) = sin(...)



Gambar 4 Parmeter orientasi platform

Dengan menggunakan matriks rotasi pada Pers.(1), vektor posisi join revolut yang dipasangkan pada *platform* berlokasi pada titik A<sub>31</sub>, A<sub>32</sub>dan A<sub>33</sub> yang dapat dinyatakan dengan:

$$\mathbf{r}_{A_{3i}}^{1} = R \mathbf{r}_{A_{3i}}^{0} \ (i=1,2,3)$$
 .(2)

Dimana  $r_{A_{3i}}^{0}$  dan  $r_{A_{3i}}^{1}$  menyatakan vektor posisi join revolut sebelum dan setelah mengalami rotasi. Selanjutnya lokasi join revolut pada *base* adalah tetap seperti diilustrasikan pada Gambar 5. Ketiga join merupakan join aktif yang dipasangkan ke *base* secara simetri.



Gambar 5 Lokasi pemasangan join revolut pada *base* 

Lokasi join *spherical* yang merupakan join pasif dapat dinyatakan dengan vektor posisi  $A_{2i}$  yang bersesuaian dengan posisi  $A_{3i}$  dan  $A_{1i}$  (*i*=1,2,3). Posisi  $A_{2i}$  akan berubah tergantung kepada perpindahan atau rotasi yang terjadi pada sumbu join revolut yang ditempatkan pada *base*. Vektor posisi join *spherical* ini dapat dinyatakan dengan Pers. (3),

$$\mathbf{r}_{A_{2i}}^{1} = T \, \mathbf{r}_{A_{2i}}^{0} \ (i=1,2,3),$$

dimana T menyatakan matriks transformasi dengan menggunakan sistem perpindahan skrew seperti diilustrasikan pada Gambar 6.



Gambar 6 Sistem perpindahan berbasis rotasi skrew

Berdasakan Gambar 6 diperoleh bahwa suatu vektor akan berubahan posisinya jika diputar dengan sudut sebesar  $\theta$  dan mengalami translasi sebesar t terhadap suatu sumbu yang dinyatakan dengan vetor s yang posisinya diwakili oleh sebuah vektor  $s_0$ . Maka dengan menggunakan sistem transformsi skrew ini lokasi P<sub>1</sub> dan berubah menjadi P<sub>2</sub> yang diekspresikan sebagai berikut:

$$\boldsymbol{p}_2 = T \, \boldsymbol{p}_1 \tag{4}$$

Dimana *T* adalah matriks 4 x 4 yang elemen sebagai berikut:

$$T = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix}$$
$$a_{11} = (s_x^2 - 1)(1 - \cos\theta) + 1$$
$$a_{12} = s_x s_y (1 - \cos\theta) - s_z \sin\theta$$
$$a_{13} = s_x s_z (1 - \cos\theta) - s_y \sin\theta$$

$$a_{21} = s_y s_x (1 - \cos \theta) - s_z \sin \theta$$
  

$$a_{22} = (s_y^2 - 1)(1 - \cos \theta) + 1$$
  

$$a_{23} = s_y s_z (1 - \cos \theta) - s_x \sin \theta$$
  

$$a_{31} = s_z s_x (1 - \cos \theta) - s_y \sin \theta$$
  

$$a_{32} = s_z s_y (1 - \cos \theta) - s_x \sin \theta$$
  

$$a_{33} = (s_z^2 - 1)(1 - \cos \theta) + 1$$
  

$$a_{14} = t s_x - s_{0x} (a_{11} - 1) - s_{0y} a_{12} - s_{0z} a_{13}$$
  

$$a_{24} = t s_y - s_{0x} a_{12} - s_{0y} (a_{22} - 1) - s_{0z} a_{13}$$
  

$$a_{34} = t s_z - s_{0x} a_{31} - s_{0y} a_{32} - s_{0z} (a_{33} - 1) a_{34} = 1$$

# Konstrain Perpindahan

Berdasarkan konstrain gerak masing join didapatkan bawa: (i) join revolut pada platform berpindahan mengikuti pergerakan platform, (ii) joint revolut pada base tetap posisinya, dan (iii) lokasi joint spherical dapat dinyatakan sebagai perpindahan yang terjadi akibat rotasi pada join input (revolut join pada base). Dengan menggunakan Pers. (2) dan (3) dan Gambar 1 diperoleh bahwa jarak antara  $A_{3i}$  dan  $A_{2i}$ adalah konstan yang nominalnya sama dengan panjang batang,  $L_2$  yang dapat dinyatakan dengan

$$r_{A_{3i}} - r_{A_{2i}} = L_2$$
 . (5)

Dalam hal ini posisi  $A_{3i}$  adalah fungsi dari gerak ouput yang dinyatakan dengan  $A_{3i}(\xi_z, \xi_x, \phi)$  sedangkan posisi  $A_{2i}$  adalah fungsi gerak input  $A_{2i}(\theta_i)$ . Vektor posisi join revolut pada *platform* dan join *spherical* dapat dinyatakan dengan komponen-komponenya

$$A_{3i} = \begin{bmatrix} a_{3i}^{x}(\xi_{z},\xi_{x},\phi) \\ a_{3i}^{y}(\xi_{z},\xi_{x},\phi) \\ a_{3i}^{z}(\xi_{z},\xi_{x},\phi) \end{bmatrix}$$
(6)

$$\boldsymbol{A}_{2i} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{a}_{2i}^{\mathrm{x}}(\boldsymbol{\theta}_{i}) \\ \boldsymbol{a}_{2i}^{\mathrm{y}}(\boldsymbol{\theta}_{i}) \\ \boldsymbol{a}_{2i}^{\mathrm{z}}(\boldsymbol{\theta}_{i}) \end{bmatrix}$$
(7)

Dengan menggunakan Pers. (5) didapatkan

 $(A_{3i})^2 - (A_{2i})^2 = (L_2)^2$ .(8) Pers. (8) merupakan persamaan gerak perpindahan pada mekanisme 3-RSR. Persamaan ini dapat diselesaikan secara kinematik *direct* dan kinematik *inverse*.

Pada analisis perpindahan secara *direct kinematic* pergerakan join input diketahui dan dihitung parameter gerak output. Pada kondisi ini diberikan  $\theta_i$  kemudian dihitung  $\xi_z, \xi_x, \phi$ . Sebaliknya pada kasus *inverse kinematik* diberikan parameter output gerak  $\xi_z, \xi_x, \phi$  dan dihitung  $\theta_i$ .

## Contoh Kasus Analsis Kinematik Inverse

Pada bagian ini diberikan contoh kasus penyelesaian persamaan kinematik invers mekanisme paralel 3-RSR. Pada Gambar 7 diperlihat kondisi geometri sebuah rantai kinemaik mekanisme paralel 3-RSR. Analisis posisi menggunakan kinematik invers, mengacu pada besaran konstanta kinematik yang diwakili oleh  $\alpha, \beta, r_p, r_g, \text{ dan } L_1$ .



Gambar 7 Pendefinisian lokasi join pada rantai kinematik RSR

Pusat putar *platform* pada mekanisme paralel ditetapkan sebagai pusat koordinat referensi  $(A_0)$  sehingga memiliki posisi  $x_0 = 0, y_0 = 0, \text{ dan } z_0 = 0$ . Selanjutnya titik  $A_1$  merupakan lokasi join revolut pada base, titik  $A_3$  menunjukkan posisi join revolut pada *platform*,  $A_2$  merupakan posisi join *spherical*,  $L_1$  mewakili panjang batang 1,  $L_2$  merupakan panjang batang 2,  $\alpha$  menyatakan sudut yang dibentuk oleh sumbu join revolut dan base, dan  $\beta$ merupakan sudut yang dibentuk oleh join revolut dan *platform*. Nilai  $A_1, A_3, L_1, L_2, \alpha$ , dan  $\beta$  diketahui, sedangkan posisi  $A_2$ dihitung dari persamaan non linear.

Berdasarkan Gambar 7 diperoleh tiga persamaan gerak

 $L_{1}^{2} = (x_{2} - x_{1})^{2} + (y_{2} - y_{1})^{2} + (z_{2} - z_{1})^{2}$ (9)  $L_{2}^{2} = (x_{3} - x_{2})^{2} + (y_{3} - y_{2})^{2} + (z_{3} - z_{2})^{2} (10)$  $L_{4}^{2} = (x_{2} - x_{0})^{2} + (y_{2} - y_{0})^{2} + (z_{2} - z_{0})^{2} (11)$ Pada Pers. (9),(10) dan (11) yang menjadi variabel adalah  $x_2, y_2$ , dan  $z_2$ . Dengan metode substitusi terhadap ketiga diperoleh tersebut akan persamaan persamaan non linier dalam fungsi Penyelesaian  $x_2, y_2, dan z_2$ . ketiga persamaan non linear untuk memperoleh akar yaitu nilai  $x_2, y_2$ , dan  $z_2$  digunakan metode iterasi Newton Raphson. Metode Newton Raphson dipilih karena metode ini lebih cepat dalam proses iterasi dan langkah yang digunakan lebih sederhana. Secara umum persamaan newton raphson seperti persamaan

$$[x_{i+1}] = [x_i] - [J]^{-1}[f]$$
 ...(12)

Dimana x merupakan matriks  $\begin{bmatrix} x_2 & y_2 & z_2 \end{bmatrix}$ ,  $\begin{bmatrix} J \end{bmatrix}$  merupakan matriks jacobi ,dan  $\begin{bmatrix} f \end{bmatrix}$  merupakan matriks evaluasi persamaan non linear. Untuk tebakan awal diberikan nilai  $\begin{bmatrix} x_i \end{bmatrix}$  dalam matriks  $\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ . Hasil solusi dari persamaan non linear ini menghasilkan dua

buah jawab. Jawab yang dihasilkan sangat terpengaruh terhadap tebakan awal.

Dengan cara kinematik invers, ditentukan orientasi *platform*, selanjutnya diperoleh sudut input pada join aktif pada masingmasing rantai kinematik. Untuk mengetahui posisi join *revolute* pada *platform* dan *base* yang terletak di rantai kinematik yang lain, dilakukan dengan menggunakan matriks transformasi seperti diberikan pada persamaan berikut :

$$R1 = \begin{bmatrix} \cos(\lambda_{1}) & -\sin(\lambda_{1}) & 0\\ \sin(\lambda_{1}) & \cos(\lambda_{1}) & 0\\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$
(13)  
$$R2 = \begin{bmatrix} \cos(\lambda_{2}) & -\sin(\lambda_{2}) & 0\\ \sin(\lambda_{2}) & \cos(\lambda_{2}) & 0\\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$
. (14)

Dimana Pers. (13) diterapkan pada rantai kinematik 2 dengan  $\lambda_1 = 120^\circ$  dan Pers. (14) digunakan pada rantai kinematik 3 dengan  $\lambda_2 = 240^\circ$ . Selanjutnya diperoleh nilai  $A_1$  dan  $A_3$  pada masing masing rantai kinematik seperti terlihat pada Gambar 8.





Gambar 8 Posisi  $A_1 \operatorname{dan} A_3$  pada masing masing rantai kinematik

Posisi  $A_1$  dan  $A_3$  dapat dinyatakan dengan persamaan (15)

$$A_{1} = \begin{bmatrix} x_{1} & y_{1} & z_{1} \end{bmatrix}$$

$$A_{2} = \begin{bmatrix} x_{2} & y_{2} & z_{2} \end{bmatrix}$$

$$A_{3} = \begin{bmatrix} x_{3} & y_{3} & z_{3} \end{bmatrix}$$
(15)

Selanjutnya posisi  $A_3$  dikali dengan matriks rotasi  $\xi_x, \xi_z$ , dan  $\phi$ , sehingga diperoleh nilai  $A_3$  yang baru. Nilai posisi  $A_3$  baru setelah rotasi selanjutnya dimasukkan ke tiga persamaan non linear, kemudian diperoleh posisi  $A_2$  yang baru dengan menggunakan matriks rotasi pada Pers. (1).

Selanjutnya besar sudut input dihitung berdasarkan perubahan orientasi batang vektor posisi  $A_{2i}$  (*i*=1,2,3).  $\theta_i$  dapat dinyatakan dengan Pers. (16).

$$v_1 \cdot u_1 = |a| |b| \cos \theta$$

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{v_1 \cdot u_1}{|a||b|} \right) \qquad \dots (16)$$

Dimana  $u_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$ dan  $v_1 = A_2 - A_1$ Untuk rantai kinematik ke-1. Hal yang sama dilakukan terhadap rantai kinematik yang lain sehingga sudut input diperoleh.

Vektor  $v_1$  adalah vektor  $A_2 - A_1$  yang berada di sepanjang batang 1, sementara vektor  $u_1$ adalah vektor yang berada pada sumbu join *revolute* pada searah sumbu y, seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Vektor pembentuk sudut input Untuk memudahkan penyelesaian

Persamaan kinematik invers yang telah diperoleh diselesaikan dengan bantuan perangkat lunak MAPLE 16.Untuk contoh kasus kalkulasi secara numerik diberika konstanta kinematik sebagai berikut:

Parameter output:

 $\xi_z = 0: 2\pi$  $\xi_x = 74^o$  $\phi = -\xi_z$ 

konfigurasi konstanta kinematik  $r_p = 1$ satuan,  $r_B = 0.9$  satuan,  $L_1 = 5.5$  satuan,  $\alpha = 30^{\circ}$ , dan  $\beta = 45^{\circ}$ . Dengan konstanta kinematik tersebut digambarkan model Cad mekanisme seperti diperlihatkan pada Gambar 10 yang terdiri dari tiga bagian yaitu (1) *base*, (2) *platform* dan (3) rantai kinematik



Gambar 10 Model Cad mekanisme

Berdasarkan model dan konstanta kinematik yang diberikan diperoleh solusi kinematik inversnya yang diperlihatkan gambar 11. Pada gambar pada 11 diperlihatkan contoh hasil simulasi numerik besarnya perpindahan join input yang terdiri dari  $\theta_i$  (*i*=1,2,3) yang berhubungan dengan orientasi platform ( $\xi_z = 0: 2\pi$ ,  $\xi_z = 74^\circ, \phi = -\xi_z$ ). Dari gambar terlihat bahwa terjadi loncatan gerakan sudut input pada saat  $\xi_z = 100^\circ$  dan  $\xi_z = 220^\circ$ . Hal ini menunjukkan bahwa teriadi kondisi singular untuk sudut kemiringan dari *platform* yang relatif besar yaitu  $\xi_z = 74^\circ$ . Pada saat kondisi singular ini penggerak atau aktuator tidak dapat mengontrol gerakan *platform*. Kondisi ini merupakan salah satu kelemahan pada mekanisme paralel terjadinya kondisi singular pada *workingspace*. Femonema singular ini menjadi konstrain dalam proses disain mekanisme paralel. Namun pada paper ini kajian terhadap fenomena singular ini tidak dikaji lebih jauh.



Gambar 11 Hasil kalkulasi kinematik invese

# Kesimpulan

Berdasarkan studi pada mekanisme 3-RSR spherical telah diperoleh formulasi persamaan perpindahan. Selanjutnya juga diberikan solusi untuk contoh kasus jawab numerik dari persamaan perpindahan tersebut dalam bentuk kinematik invers.

# Referensi

[1] Kong, X-W,Type Synthesis of 3-DOF multi-mode translational/spherical parallel mechanisms with lockable joints, Mechanisms and Machine Theory Vol. 96, Part 2 (2016), pp. 323-333.

[2] Hosen,M.A., Kinematic synthesis of a novel rapid spherical CRS/PU parallel manipulator Mechanism and Machine Theory, Vol. 93, (2015),pp. 26-38.

[3] A novel 3-PUU parallel mechanism and its kinematics issues, Robotics and Computer –Integrated Manufacturing, Vol. 42 (2016) pp. 86-102. [4] Hektor, A., et al., Dimensional synthesis of a spherical parallel manipulator based on the evaluation of global performance indexes, Robotics and Autonomous Systems, Vol. 60, Issue 8, (2012), pp. 1037-1045.

[5] Huda, S. And Takeda, Y., Dimensional synthesis of 3-URU pure rotational parallel mechanism with consideration of uncompensatable error, journal of Advanced Mechanical Design, Systems, And Manufacturing, Vol. 2, No. 5, pp. 874-886.

[6] Sun, T., et al.,Optimal design of a parallel mechanism with three rotational degrees of freedom Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 28, Issue 4, (2012), pp. 500-508.

[7] Saafi, H, et al., Forward kinematic model improvement of a spherical parallel

manipulator using an extra sensor Mechanism and Machine Theory, Vol., (2015),pp. 102-119.

[8] Enferadi, J. And Shahi, A., On the position analysis of a new spherical parallel robot with orientation applications, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 37, (2016), pp. 151-161

[9] Zhang, D. And Gau, Z., Forward kinematics, performance analysis, and multi-objective optimization of a bioinspired parallel manipulator ,Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 28, Issue 4, (2012),pp. 484-492

[10] Morell, A., et al., Solving the forward kinematics problem in parallel robots using Support Vector Regression, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol. 26, Issue 7, (2013),pp. 1698-1706