

行政院國家科學委員會專題研究計畫期中報告

整合工業網路與無線網路之遠端監控系統設計(2/2)

計畫編號：NSC 95-2232-E-009-1-MY2

執行期限：96/08/01~97/7/31

主持人：徐保羅 國立交通大學電機與控制工程系

摘要

網路化在工業上的應用越來越普及，由於網路化可以帶來需許多優點，比如減少配線、減少安裝及維護的成本，所以由網路連結與多系統的溝通也成為了一種趨勢。在建構網路化控制方面，本研究運用 RS-232 串接的形式將多軸馬達連接構成一個網路化的系統，藉由 DSP F2812 與馬達之間的通訊協定成功的來控制四軸馬達。使平台分別測試於低速(30 cm/s)與高速(100 cm/s)，於平台位置迴路上加上 PID 控制器，改善實際位置誤差。由於網路式的控制受限於傳輸率的限制，所需的取樣周期較大，因此我們將針對於不同的取樣時間下，探討網路式與集中式的效果。近來全方位攝影機在機器人導航領域中被拿來做為目標物追蹤以及機器人定位，本文以 Kalman filter 針對影像目標物相對位置作估測，以消除平台行走間產生震盪問題，本論文提出以感測融合的方式，結合影像與 encoder，提升平台相對定位的精確度及穩定性。本論文整合遠端控制、影像傳輸與平台運動控制三方面，遠端遙控者可以藉由網路傳輸下達命令給平台，平台上影像也可藉由網路傳輸回傳至遙控者。最後，整體平台藉由網路化的結構，並具由遠端遙控及自主的系統，於全方位移動平台上實現。

關鍵字：集中式控制，網路式控制，全方位移動平台，感測融合，遠端控制

Abstract

Recently, network control system (NCS) becomes popular in different industrial applications with advantages as low cost, reduction of installation, and easy maintenance. The servo motor adopted in this study with the serious RS-232 interface to connect all motors as the NCS. The DSP F2812 is applied to generate commands as the protocol to control four motors of an omni-directional mobile robot (ODMR). The mobile robot was tested with both at a low speed (30 cm/s) and a high speed (100 cm/s) with acceleration and deceleration. By adding the PID position controller, the robot motion accuracy is significantly improved in a centralized control structure which is usually faster compared with the NCS structure. A suitable sampling time for the NCS on the ODMR is determined in real application experimentally by considering the sampling time and the system performance.

The omni-directional camera can be applied as the function of tracking and localization on the robot navigation. Its estimation of relative position between an object and a robot is improved by applying the Kalman filter to reduce the oscillation as robot starts to move.

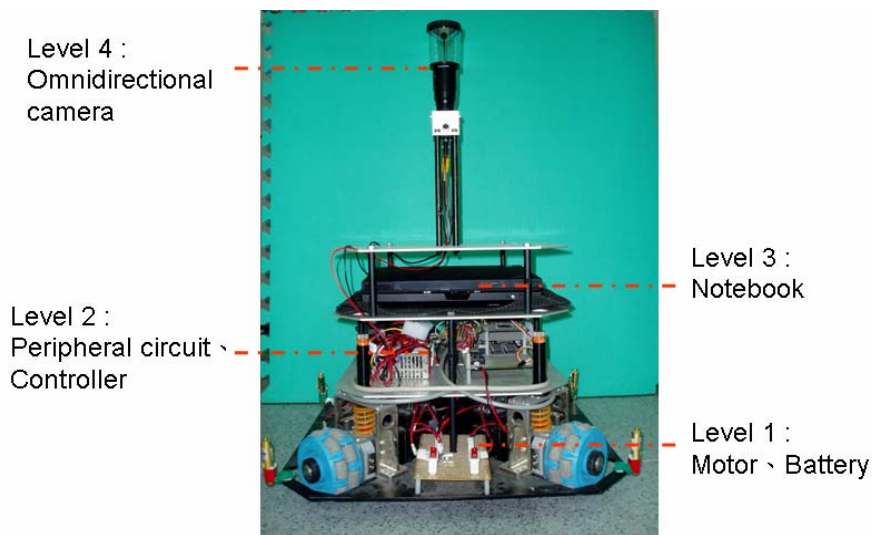
Moreover, the sensor fusion is applied to integrate both the wheel encoder and the image signals to improve the accuracy and stability of localization. The present integrated system, including the remote control, the image, and the motion control systems, is developed for the remote operator to transmit the command and receive the image through the internet. Finally, the mobile robot which is built by the NCS structure has been applied to an autonomous system successfully.

Keywords: centralized control, NSC, ODMR, sensor fusion, remote control

1. 簡介

機器人架構是由多個感測器及運用感測融合機制來達到避障及定位的功能，因此必須由較多的周邊電路，因此若將這些週邊設備都以網路化的連接來實現，可以使得接線簡單，不容易除錯，也可減少干擾。整體系統的控制命令與回授訊號是藉由網路的傳輸來完成，稱此系統為網路控制系統(network control system, NCS)，由網路來控制系統帶來了許多好處，但也因為是使用網路來做為訊息傳輸的媒介，因此所需花費的時間依傳送速度的快慢及資料量來決定，網路傳送過程中，會產生資料封包的遺失，使得取樣周期越小網路系統呈現飽和問題[1]-[2]。

感測器方面，目前用來做影像定位最常見的為全方位攝影機，運用雙曲面鏡反射[3]-[4]感測周圍360度環境資訊。Betke and Gurvits [5]使用camera照射reflecting ball裝於平台正中央，使平台偵測四周環境所設定的兩點標地物，運用三角近似法(triangulation approach)進行平台定位，並估測平台位置。Chen et al. [6]為實現於足球機器人運用影像回授物體追蹤與避障。Saedan et al. [7]為運用影像擷取環境的特徵，進行絕對定位與相對定位。Sun et al. [8]為運用圓柱投影(cylindrical projection)的方式將全方位影像展開，增加精密度及追蹤的強健度，實現於中型足球機器人。Winters et al. [9]為將平台至於走廊上，偵測地面與牆壁夾邊進行機器人導航。Kobayashi et al. [10]為運用影像偵測一目標物，並加入類神經網路感測融合(neural network based sensor fusion) 做平台定位。



圖一、實驗平台實體圖

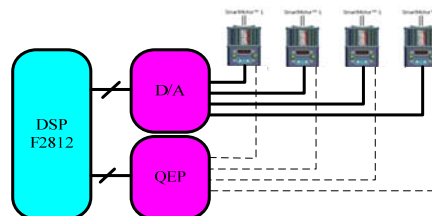
2. 集中式與網路式控制架構

2.1 集中式控制

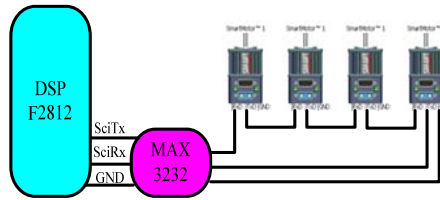
圖二為集中式的控制架構，平台命令以電壓 0V~5V 作為控制馬達正反轉命令，以 2.5V 作為基準；在回授馬達的 pulse 數則是由馬達輸出 A、B 相的訊號，由外部 QEP 將訊號計數，以並列訊號方式傳回給 DSP 做運算。

2.2、網路式控制

圖三為網路式的控制架構，平台由 DSP 的 SCI 介面與馬達發送及接收命令，各個馬達以串接的方式相連接，不過受限於傳輸率的影響，平台傳送四軸命令與接收四軸命令於傳輸率 19200 bps 需 40ms，於 9600 bps 需 80 ms。



圖二、集中式控制硬體架構

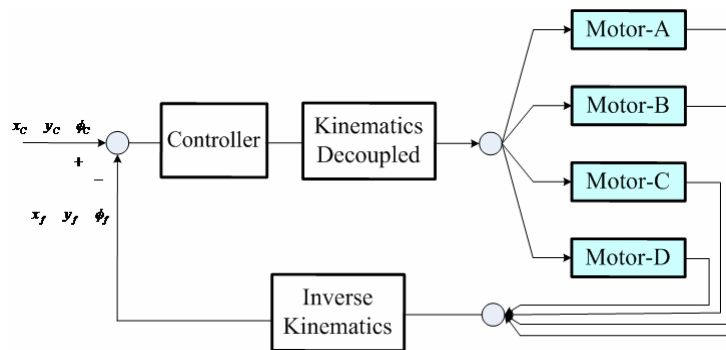


圖三、網路式控制硬體架構

由集中式與網路式的架構中，可以看出由網路式的架構控制形式接線較為簡略，而集中式則需要較多的周邊元件，因此存在些許的偏壓，導致輸出電壓會有飄動現象；不過集中式的控制方式較為直接，不受傳輸時間的影響，因此取樣周期大約為 2 ms。

2.3 平台控制器調整之實驗結果

平台控制器係指運動命令分於四軸前，如圖四，對於平台命令 x_w 、 y_w 、 ϕ 的運算調整。本論文藉由平台移動於直線加旋轉路徑 ($d = 200\text{cm}$ 、 $\phi = 180^\circ$)，並針對平台的移動速度進行加減速的規劃 ($v = 30\text{cm/s}$ 、 $A = 15\text{cm/s}^2$)，使平台的移動速度為作為設計平台的 P 及 PID 位置控制器的參考依據，利用直線加旋轉的移動方式作為相對定位之運動控制成效評比。平台初始位置皆設為 $(x_w \ y_w \ \phi) = (0 \ 0 \ 0)$ ，終點位置為 $(x_w \ y_w \ \phi) = (0 \ 200 \ 180)$ 。



圖四、平台控制架構

當只有 K_p 時，則較小的 K_p 值會拉長整體的安定時間，造成與命令有較大的誤差，而無法追上命令；若 K_p 較大時，則會使得平台不穩定而產生較大的震盪。加入 K_i 來使得整體平台 IAE 值變小，也就是可以使得平台命令與回授誤差變小。加入 K_d 之後可以再減少位置 IAE 值，最後控制參數決定：

$$K_p(x_w \ y_w \ \phi) = \{0.02 \ 0.02 \ 0.02\}$$

$$K_i(x_w \ y_w \ \phi) = \{0.00012 \ 0.00012 \ 0.00012\}$$

$$K_d(X_w \ Y_w \ \phi) = \{0.6 \ 0.6 \ 0.6\}$$

3. 網路式與集中式之實驗結果

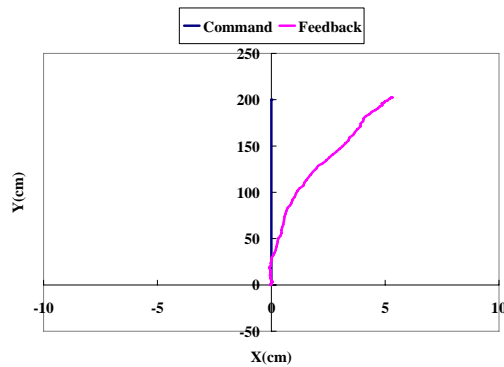
1、開迴路控制

整體平台於未加入控制器時，位置誤差由 encoder 所觀察到的誤差於不同的取樣時間，如表一，在各種不同取樣時間下整體平台誤差由馬達回授可以得到若未加入平台控制器，則集中式產生了較大的誤差。由於各軸不匹配的情況下，則平台隨著取樣時間越大而位置誤差也越明顯；而 NCS 則由於各軸直接接受 RS-232 命令，所以於整體路徑的行走上會有較小的誤差值。

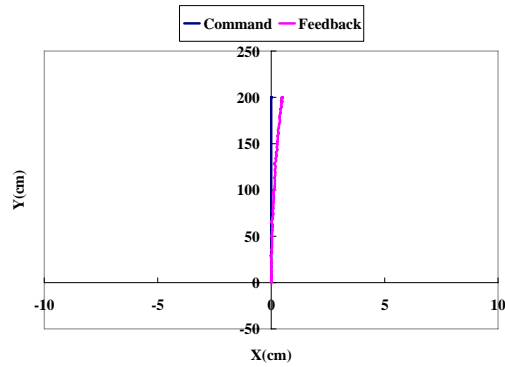
表一、未加入位置控制器 Encoder 位置回授誤差

	V=30 cm/s		V=100 cm/s	
	Centralized	NCS	Centralized	NCS
2ms	5.71		4.09	
10ms	7.98		6.02	
20ms	8.76		7.16	
50ms	9.23	0.04	12.47	0.16
100ms	11.43	0.10	17.63	0.36
200ms	12.82	0.48	33.77	1.69

(單位:cm)



(a) 集中式

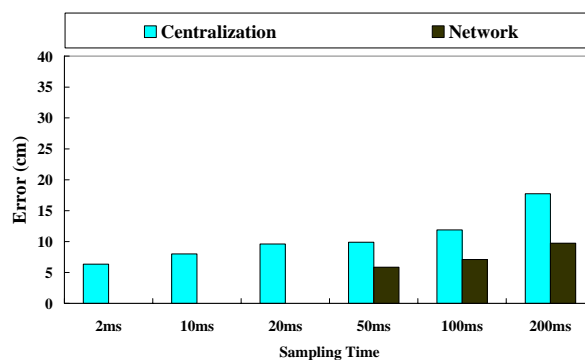


(b) 網路式

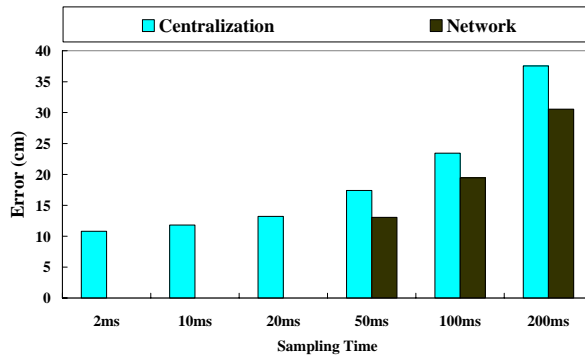
圖五、平台開迴路運動軌跡圖

圖五(a)可以看出由集中式控制各軸不匹配的情況下，則若平台旋轉角度越大，則encoder誤差越為明顯；而於網路式控制則各軸較為匹配，因此平台加旋轉由encoder反算誤差較小。

圖五(b)為表示平台於網路式控制與集中式控制於低速與高速運動下實際量測誤差，誤差會隨著取樣時間越大而誤差越大。慢速開迴路時，網路式控制於 50ms 取樣時間下，與集中式控制於 2ms 有相當的表現，但 encoder 所觀察到的差異較大；而於高速開迴路時，網路式控制於 50ms 取樣時間下，與集中式控制於 20ms 有相當的表現，但 encoder 一樣差異較大。因此於開迴路狀態下，網路式的控制有較好的表現。



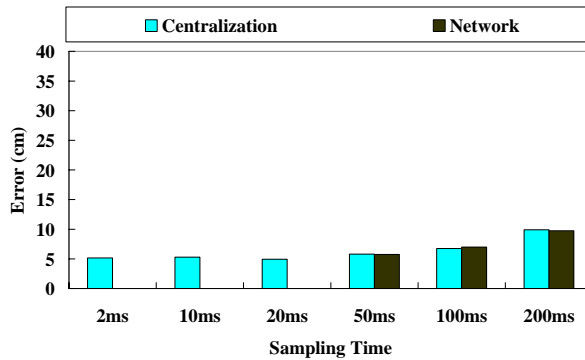
(a) 低速運動之誤差($V=30\text{ cm/s}$)



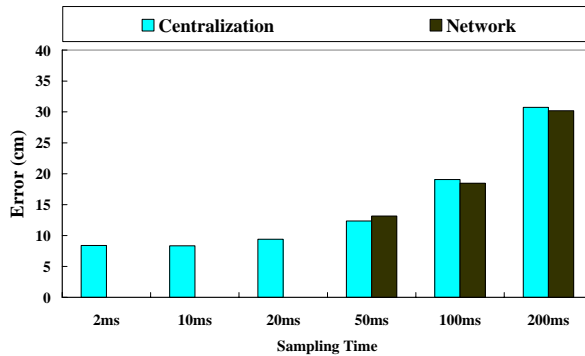
(b) 高速運動之誤差($V=100\text{ cm/s}$)

圖六、平台運動控制開迴路

2、閉迴路控制



(a) 低速運動之誤差($V=30\text{ cm/s}$)



(b) 高速運動之誤差($V=100\text{ cm/s}$)

圖七、平台運動控制閉迴路

整體平台未加入控制器時，由 encoder 所觀察到的 NCS 誤差低速時小於 1 cm，高速時小於 2 cm，集中式的誤差則皆大於 4 cm 以上，必須加入平台控位置制器來改善整體平台的位置誤差，因此於不同取樣時間下調整平台控制器的參數，加入位置控制器改善後，平台 encoder 所得到的誤差接近於零。提升了平台的位置控制精確性。

由 encoder 觀察可以看到控制器對平台追跡的改善效果，接下來探討平台閉迴路實際量測誤差，圖七為表示平台於網路式控制與集中式控制於低速與高速運動下實際量測誤差，加入位置控制器可以有效改善平台的實際位置誤差，特別針對原本開迴路 encoder 誤差較大的集中式改善最為明顯；而網路式則因為各軸較為匹配，因此閉迴路控制改善較低。取樣時間 50ms 至 200ms 之間於低速及高速時，兩種模式會有相當的位置誤差。於低速時，平台取樣時間小於 50ms 位置誤差相似；於高速時，則取決於取樣時間的大小，取樣時間越小，則準確性越好，反之則越差。

4. 結合影像感測融合機制實現

為探討感測融合對於路徑追跡的影響，由於影像感測容易產生震盪，因此若平台位置控制器太大時，容易產生震盪，因此於網路化控制使用相同的控制器($K_p=0.1$)做為評比的標準，而集中式的控制則使用相同的控制器($K_p=0.003$)，讓平台低速行走於直線路徑，做為實驗條件。

Type 1 : encoder only

使用 encoder 作為平台角度、位置回授，在位置 IAE 與位置誤差都有較佳的表現，平台也可以控制的穩定，但其缺點為平台若產生打滑，導致累積誤差的產生，如圖八為平台三方向的軌跡，可以看出 encoder 確實有到最終位置，而影像則偵測出距離目標物還有誤差 10.09cm。

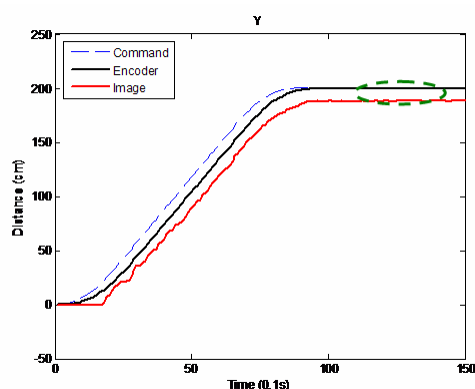
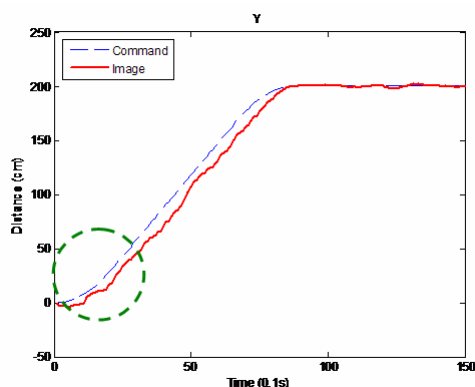


圖 八、 Type 1 直線路徑圖($\mu_{Encoder}=1$)

Type 2 : image only

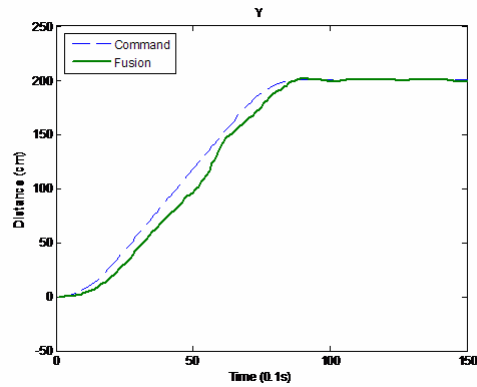
使用影像所得到的位置、角度回授，影像經由 Kalman Filter 位置估測後，減少影像的震盪，由全方位鏡上所得到的平台座標 X 、 Y 、 ϕ 最為回授，圖九為使用 image 回授所得到的平台三方向軌跡，可以看出若平台距離偵測物較遠時，則容易震盪，導致平台一開始所偵測到的角度稍為傾斜，因此整體由影像所得到的回授有達到且差了 1.5cm，與 Type 1 比較起來，整體平台實際精確度大為提升，因此為了消除平台一開始行走的震盪現象，提出 Type 3 的融合方法。



圖九、Type 2 直線路徑圖 ($\mu_{Image}=1$)

Type 3 : 感測融合(fusion)

將影像與 encoder 所得到的值做融合機制如圖 4-3 所示，當距離目標物較遠時，則使用 encoder 為依據，較近時則以影像為主，由此來達到平台的 encoder 穩定與 image 精確的控制，為了防止突然切換 encoder 與 image 的強烈震盪，加入了權重的切換，如圖十所示的融合機制，使得回授訊號較為平穩，不會導致平台不受控。NCS 加入融合的方法後，整體實際誤差由 9.7cm 降至 1.03cm，改善率為 89.4%。



圖十、 Type 3 直線路徑圖(影像距離 $\geq 50\text{cm}$ 啟動融合)

4.3 網路化遠端控制

在遠端控制方面程序分為三部份：無線網路傳輸、影像展開與 PC(client)-PC(server)-DSP 之間的溝通協定，以下將依序介紹：

1、無線網路傳輸

機器人影像的資料較為龐大，因此為了可以達到影像傳輸的目的及遠端下達平台命令，利用電腦的 IEEE 802.11b/g 無線通訊模式，藉由 OFDM 調變技術最快速度可以到達 54Mbps，實現可移動式的監視系統。

2、全方位影像展開

由於全方位攝影機是藉由攝影機去照攝曲面鏡所得到的影像，而且為了可以照射到 360 度的影像，所以整張圖形聚集於平台中心點，為了讓全方位影像展開以方便觀察，因此使用圓柱投影法將圖形展開。

3、PC(client)-PC(server)-DSP 之間的通訊協定

在此將 RS-232 通訊格式運用至網路通訊格式。在無線網路傳輸上，使用 802.11 介面達到影像與平台命令傳輸，以 UDP 封包的方式，較不考慮可靠性，但可達到最即時的傳輸。



Operator



平台實際運動狀況



Operator觀測影像

圖十一、網路化監控系統實現

5. 結論

1、建立平台網路化控制

運用 RS-232 的通訊協定，實現於於全方位移動平台多軸運動控制架構。低速運動，兩者有相當的表現，高速時，需較快的取樣週期，所以使用集中式有較好的效果。

2、感測融合

由於 encoder 與 image 存在各自的優缺點，因此以距離感測融合的機制，使得平台移動穩定性及準確性提升，於網路式與集中式的控制下，改善平台位置誤差 90%。

3、實現目標物追蹤與遠端控制平台

全方位移動平台自主追蹤目標物，並以穩定又快速的移動能力。平台亦可藉由網路來遙控平台，並可將平台影像傳回操作者端觀賞，實現整體平台網路化控制。

6. 成果自評

本研究計畫在整合有線工業網路與無線商用網路之遠端監控系統，以全向位平台實現，對於網路監控系統之實現，兼具實務及學術價值，為一有意義之研究雛形成果。

參考文獻

- [1] J. Yu, S. Yu and H. Wang, "Survey on the Performance Analysis of Networked Control Systems," *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 6, pp. 5068-5073, October 2004.
- [2] C. W. Cheng, C. L. Lai, B. C. Wang, and P. L. Hsu, "The Time-delay Effect of Multiple-Network Systems in NCS," *SICE Annual Conference 2007*, 1C11-4, Sep. 18, 2007, Takamatsu JAPAN.
- [3] M. Yachida, "Omnidirectional Sensing and Combined Multiple Sensing," Proceedings of 1998 IEEE and ATR Workshop on Computer Vision for Virtual Reality Based Human Communications, pp. 20-27, 1998.
- [4] K. Kondo, Y. Yagi and M. Yachida, "Non-isotropic Omnidirectional Imaging System for an Autonomous Mobile Robot," *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1228-1233, 2005.
- [5] M. Betke and L. Gurvits, "Mobile Robot Localization Using Landmarks," *IEEE Transaction on Robotics and Automation*, Vol. 13, No. 4, pp. 251-263, 1997.
- [6] Zi-Yuan Chen, Yu-Cheng Chen, Yin-Tien Wang, "Image-based Control of an Autonomous Robot with Omnidirectional Vision," *International Symposium on Industrial Embedded Systems*, pp. 142-147, 2007.
- [7] Mana Saedan, Chee Wang Lim and M. H. Ang, "Omnidirectional Image Matching for Vision-Based Robot Localization," *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Mechatronics*, pp.17-22, 2006.
- [8] Yingjie Sun, Qixin Cao and Weidong Chen, "An Object Tracking and Global Localization Method using Omnidirectional Vision System," *Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automation*, Hangzhou, P.R. China, Vol. 6, pp. 4730-4735, 2004.
- [9] N. Winters, J. Gaspar, G. Lacey and J. Santos-Victor, "Omni-directional Vision for Robot Navigation," *Proceedings of IEEE Workshop on Omnidirectional Vision*, pp. 21-28, 2000.
- [10] F. Kobayashi, D. Masumoto and F. Kojima, "Sensor Selection based on Fuzzy Inference for Sensor Fusion," *Proceedings of 2004 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, Vol. 1, pp. 305-310, 2004.