

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
โปรแกรม M-Files สำหรับ MATLAB

```

% โปรแกรมแบบจำลองระบบ INS กรณีที่ความเร็วและความเร่งคงที่
% Number of rows in H:
% Earth radius%load c:\GPS12
load c:\GPS12.txt
load c:\GM1.txt
load c:\GM2.txt
load c:\velocity.txt
latgps12=GPS12(:,1);longps12=GPS12(:,2);Altgps12 =GPS12(:,3);
latGM1=GM1(:,1)lonGM1=GM1(:,2)AltGM1 =GM1(:,3)
v_north=velocity(:,1)v_east=velocity(:,2)
latGM2=GM2(:,1);lonGM2=GM2(:,2);AltGM2 =GM2(:,3);
%in WGS-84 coordinates:
Ra = 6378137.0;Rb = 6356752.3142;Re = Ra;
flattening = (Ra-Rb)/Ra;
esq = 2*flattening - flattening^2;
% Acceleration due to gravity:
g = 9.80665;
% Sidereal rate (rad/sec):
omega_s = 1.0027379*2*3.14159/(24*3600);
%The measurement sequence starts at k=0 and ends at k=m.
m=1000; minput = input('? ');
if minput >= 0,
    m = minput;
end;
%Now set up row matrices with the correct dimensions for your outputs.
time=0:1:m; disp('Running...');
n=9;
proc_noise = 1; meas_noise = 1;
I = eye(n);
P0 = proc_noise * eye(n);
Q = proc_noise * eye(n);
%R = meas_noise * eye(m)
% State Dynamics Matrix:
for i=1:10; for j= 1:10; for kk=1:10;

```

```

for v = 1:10; for vv=1:10;
    for Glat12 = 1:10; for Glon12 = 1:10; for Gat12 = 1:10;
        vel_north = v_north(v)
    vel_east = v_east(vv)
    lat_1 = latGM1(i)
    lon_1 = lonGM1(j)
    alt = AltGM1(kk)
    GPS12_x = latgps12(Glat12)
    GPS12_y = longgps12(Glon12)
    GPS12_z = Altgps12(Gat12)
    lat = lat_1*pi/180;
    sinlat = sin(lat); coslat = cos(lat); seclat = sec(lat); tanlat = tan(lat);
    rho_x = trate_east(vel_north,lat,alt) ; rho_y = trate_north(vel_east,lat,alt) ; rho_z = 0; % free azimuth
    % Assume 0 acceleration for now:
    a_x = 0; a_y = 0; a_z = 0;
    %alpha = input('Enter the wander angle (deg): ');
    %alpha = alpha*pi/180;
    alpha = 0;
    omega_x = omega_s*coslat*sin(alpha); omega_y = omega_s*coslat*cos(alpha); omega_z = omega_s*coslat
    % Coriolis rates:
    cr_x = 2*omega_x + rho_x; cr_y = 2*omega_y + rho_y; cr_z = 2*omega_z + rho_z;
    % Spatial rates:
    sr_x = omega_x + rho_x; sr_y = omega_y + rho_y; sr_z = omega_z + rho_z;
    % Now build F matrix:
    F = [ 0 rho_z -rho_y 1 0 0 0 0 0;
        -rho_z 0 rho_x 0 1 0 0 0 0;
        rho_x -rho_y 0 0 0 1 0 0 0;
        -g/Re 0 0 0 cr_z -cr_y 0 -a_z a_y;
        0 -g/Re 0 -cr_z 0 cr_x a_z 0 -a_x;
        0 0 2*g/Re cr_y -cr_x 0 -a_y a_x 0;
        0 0 0 0 0 0 0 -sr_z sr_y;
        0 0 0 0 0 0 sr_z 0 -sr_x;
        0 0 0 0 0 0 -sr_y sr_x 0;
    ];

```

```

global PHI Q dt omegax omegay wacc wgyro

wacc=.0036; wgyro=2.35e-11;

%Specify the 9 x 9 input power spectral density matrix
GWGT=zeros(9,9); GWGT(2,2)=wacc; GWGT(3,3)=wgyro;
GWGT(5,5)=wacc; GWGT(6,6)=wgyro;GWGT(8,8)=wacc; GWGT(9,9)=wgyro;

%Now compute PHI and Q
A=[-dt*F dt*GWGT;zeros(9,9) dt*F'];
B=expm(A);
PHIT=B(10:18,10:18);
PHI=PHIT';
Q=PHI*B(1:9,10:18);

%Specify the initial P matrix as PMINUS.
PMINUS= [1E6 0 0 0 0 0 0 0 0 ;
          0 1E2 0 0 0 0 0 0 0 ;
          0 0 6.4E-3 0 0 0 0 0 0 ;
          0 0 0 1E6 0 0 0 0 0 ;
          0 0 0 0 1E2 0 0 0 0 ;
          0 0 0 0 0 6.4E-3 0 0 0 ;
          0 0 0 0 0 0 1E6 0 0 ;
          0 0 0 0 0 0 0 1E2 0 ;
          0 0 0 0 0 0 0 0 6.4E-3];

%Specify the numerical values for H and R.
n=9; a=3; meas_noise = 1;

% Observation Geometry (Measurment) Matrix:
% This creates an upper diagonal matrix of 1's.
H=[1 0 0 1 0 0 1 0 0 ;
   1 0 0 1 0 0 1 0 0 ];

R = meas_noise * eye(2);

%Now set up row matrices with the correct dimensions for the outputs.
var_att_x=zeros(1,m+1); var_att_y=zeros(1,m+1); var_att_z=zeros(1,m+1);

%The main recursive loop.
for k=0:m;

    GAIN=PMINUS*H'*inv(H*PMINUS*H'+R);

```

```

PPLUS=(eye(9)-GAIN*H)*PMINUS;
%Add extra step here to assure symmetry of the P matrix.
PPLUS=(PPLUS+PPLUS')/2;
var_att_x(k+1)=PPLUS(3,6); var_att_y(k+1)=PPLUS(5,6); var_att_z(k+1)=PPLUS(9,9);
%Project ahead and symmetrize.
PMINUS=PHI*PPLUS*PHI'+ Q;
PMINUS=(PMINUS+PMINUS')/2;
end
%Compute rms error vectors from variance vectors
rms_x = sqrt(var_att_x); rms_y = sqrt(var_att_y); rms_z = sqrt(var_att_z);
%Compute True Position
rms_xx=0.0101*rms_x; new_x=rms_xx + lat_1;
rms_yy=0.0101*rms_y; new_y=rms_yy + lon_1;
new_zz=rms_z + alt;
com_x = (new_x - GPS12_x) ; com_y=(new_y - GPS12_y) ; com_z=0.1*(new_zz - GPS12_z)
if com_x >= 0.5 ;return , 45
elseif com_y >=0.5 ; return ,46
else com_z >= 0.5 ; return,47
%latGPS12 =latgps12'
%figure(1);plot(time,new_x,time,latGPS12)
end ; end ; end ; end ; end ; end ; end ; end ; end ;
figure(1);semilogy(time,var_att_x,time,var_att_y,time,var_att_z)
end
% โปรแกรมแบบจำลองระบบ INS กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วและความเร่ง
n=9 ; m=2 ;s=600 ; dt=1 ;g=9.8
wacc=.0036 ; wgyro=2.35e-9 ; R=[225 0;0 225] ; ay=4.0
PZEROM=zeros(n);
PZEROM(1,1)=100; PZEROM(2,2)=1e-6;
PZEROM(3,3)=1e-6; PZEROM(4,4)=100; PZEROM(5,5)=1e-6;
PZEROM(6,6)=1e-6; PZEROM(7,7)=100; PZEROM(8,8)=1e-6; PZEROM(9,9)=(1.0*pi/180)^2
%Now work on PHI and Q matrices. Start with zero acceleration.
% Number of rows in H:
% Earth radius in WGS-84 coordinates:
Ra = 6378137.0; Rb = 6356752.3142; Re = Ra;

```

```

flattening = (Ra-Rb)/Ra;
esq = 2*flattening - flattening^2;
% Acceleration due to gravity:
g = 9.80665;
% Sidereal rate (rad/sec):
omega_s = 1.0027379*2*3.14159/(24*3600);
%The measurement sequence starts at k=0 and ends at k=m.
m=1000; minput = input('? ');
if minput >= 0, m = minput; end;
%Now set up row matrices with the correct dimensions for your outputs.
time=0:1:m;
disp('Running...');
n=9; proc_noise = 1; meas_noise = 1;
I = eye(n);
P0 = proc_noise * eye(n);
Q = proc_noise * eye(n);
%R = meas_noise * eye(m);
% State Dynamics Matrix:
vel_north = input('Enter north velocity(m/sec): ');
vel_east = input('Enter east velocity(m/sec): ');
lat = input('Enter latitude (deg): ');
lat = lat*pi/180; sinlat = sin(lat); coslat = cos(lat);
seclat = sec(lat); tanlat = tan(lat); alt = input('Enter altitude (meters): ');
rho_x = trate_east(vel_north,lat,alt) ; rho_y = trate_north(vel_east,lat,alt) ; rho_z = 0; % free azimuth;
% Assume 0 acceleration for now:
a_x = 0; a_y = 0; a_z = 0;
%alpha = input('Enter the wander angle (deg): ');
%alpha = alpha*pi/180;
alpha = 0;
omega_x = omega_s*coslat*sin(alpha); omega_y = omega_s*coslat*cos(alpha); omega_z = omega_s*coslat
% Coriolis rates:
cr_x = 2*omega_x + rho_x; cr_y = 2*omega_y + rho_y; cr_z = 2*omega_z + rho_z;
% Spatial rates:
sr_x = omega_x + rho_x; sr_y = omega_y + rho_y; sr_z = omega_z + rho_z;

```

```

% Now build F matrix:
F = [ 0   rho_z -rho_y   1   0   0   0   0   0;
      -rho_z   0   rho_x   0   1   0   0   0;
      rho_x -rho_y   0   0   0   1   0   0;
      -g/Re   0   0   0 cr_z -cr_y   0 -a_z  a_y;
        0 -g/Re   0 -cr_z   0 cr_x  a_z   0 -a_x;
        0   0 2*g/Re cr_y -cr_x   0 -a_y  a_x   0;
        0   0   0   0   0   0   0 -sr_z sr_y;
        0   0   0   0   0   0 sr_z   0 -sr_x;
        0   0   0   0   0   0 -sr_y sr_x   0;
      ];

GWGT=zeros(n); GWGT(2,2)=wacc; GWGT(3,3)=wgyro; GWGT(5,5)=wacc;
GWGT(6,6)=wgyro; GWGT(8,8)=wacc; GWGT(9,9)=wgyro;
A=[-dt*F dt*GWGT;zeros(n) dt*F'];
B=expm(A); PHIT=B(10:18,10:18); PHI=PHIT'; Q=PHI*B(1:9,10:18);

%Now order constant negative accel.
F(2,9)=-ay
AMID=[-dt*F dt*GWGT;zeros(n) dt*F'];
BMID=expm(AMID); PHIMIDT=BMID(10:18,10:18);
PHIMID=PHIMIDT'; QMID=PHIMID*BMID(1:9,10:18);

%Begin the main i loop. PDIAG will contain the diagonal
PMINUS=PZEROM; PDIAG=zeros(9,601);
H=zeros(2,9) ; d=1000 ; I=eye(n);
for i=1:600

    %Compute variable H matrix. Linearize about a trajectory
    if i>0 & i<=150
        ynom=-10000+100*(i-1);
        rnom=sqrt(d^2+ynom^2);
        H(1,1)=d/rnom; H(1,4)=ynom/rnom;
        H(2,1)=-d/rnom; H(2,4)=ynom/rnom;
        gain=(PMINUS*H')*inv(H*PMINUS*H'+R);
        PPLUS=(I-gain*H)*PMINUS;
        PPLUS=.5*(PPLUS+PPLUS');
    end
    for j=1:9

```

```

        PDIAG(j,i)=PPLUS(j,j);
    end
    PMINUS=PHI*PPLUS*PHI'+Q;
End
if i>150 & i<=200
    ynom=-10000+80*(i-1);
    rnom=sqrt(d^2+ynom^2);
    H(1,1)=d/rnom; H(1,4)=ynom/rnom;
    H(2,1)=-d/rnom; H(2,4)=ynom/rnom;
    gain=(PMINUS*H')*inv(H*PMINUS*H'+R);
    PPLUS=(I-gain*H)*PMINUS; PPLUS=.5*(PPLUS+PPLUS');
    for j=1:9
        PDIAG(j,i)=PPLUS(j,j);
    end
    PMINUS=PHIMID*PPLUS*PHIMID'+QMID;
end
if i>200 & i<=600
    ynom=-10000+60*(i-1); rnom=sqrt(d^2+ynom^2);
    H(1,1)=d/rnom; H(1,4)=ynom/rnom;
    H(2,1)=-d/rnom ;H(2,4)=ynom/rnom;
    gain=(PMINUS*H')*inv(H*PMINUS*H'+R);
    PPLUS=(I-gain*H)*PMINUS; PPLUS=.5*(PPLUS+PPLUS');
    for j=1:9
        PDIAG(j,i)=PPLUS(j,j);
    end
    PMINUS=PHI*PPLUS*PHI'+Q;
end
end
k=0:1:600;
figure(1)
plot(k,PDIAG(1,:));
figure(2)
plot(k,PDIAG(2,:))

```

ภาคผนวก ข
การสำรวจเส้นทาง 5 เส้นทางของ GPS-GM80 และ GPS-12

เส้นทางที่ 1

ตารางที่ ข.1 แสดงค่าพิกัดและระดับเฉลี่ยในเส้นทางที่ 1 ของเครื่องรับ GPS-GM80 ก่อนและหลังทำการปรับแก้

ตำแหน่ง	ค่าจาก GPS- GM80 ก่อนทำการปรับแก้ค่าตำแหน่ง			ค่าจาก GPS – GM 80 เมื่อทำการปรับแก้ค่าตำแหน่งใหม่		
	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)
อาร์ตมินิมาร์ท	17.394520	102.795500	151.10	17.394460	102.795600	157.70
สามแยก ช.จินตคาม	17.395210	102.797500	154.10	17.395070	102.797200	156.30
ไฮเทคสแคว์	17.395690	102.796800	157.50	17.395870	102.796900	157.0
7-Eleven ถนนทหาร	17.398600	102.795100	157.00	17.398620	102.795300	156.50
ม.ราชภัฏอุดรธานี	17.399360	102.795000	158.70	17.399350	102.794800	158.80
วงเวียนกรมหลวงประจักษ์ ประจักษ์	17.401030	102.794700	160.80	17.400920	102.794500	195.50
วงเวียนห้าแยกน้ำพุ	17.403910	102.793300	185.60	17.404280	102.793600	186.10
ตลาดห้าแยกสแควร์	17.404400	102.792600	185.50	17.404970	102.792700	185.70
ร้านอาหารมิสเตอร์ที	17.404750	102.79000	183.10	17.406200	102.790300	183.10
โรงแรมคิงส์	17.408740	102.784500	175	17.409190	102.784800	174.10
สถานีดับเพลิง	17.411380	102.785200	161.30	17.411710	102.783900	161
สำนักงานตำรวจท่องเที่ยว	17.412590	102.784900	161	17.412900	102.784400	161.90
7-Eleven บ้านโนน	17.418701	102.787800	166.70	17.419100	102.786400	167.50
พลาวิลเลียนสปา	17.420810	102.786300	165.60	17.420620	102.786300	165.70
โรงพยาบาลวัฒนา	17.422240	102.784000	160.80	17.421400	102.783700	160.50
ร้านอาหารกิมลมขมิ้ว	17.422550	102.783300	160.30	17.921670	102.782900	160.70
สำนักงานเกษตรจังหวัด	17.423590	102.779700	167	17.422650	102.779700	166.90
พระตำหนักหนองประจักษ์	17.423350	102.778600	168.80	17.42260	102.778300	167.80
สำนักงานประปา	17.419790	102.779300	167.10	17.419250	102.778800	167.20
ร้านอาหารภูคอฟเวอร์รี่ดิง	17.419290	102.780300	166.70	17.418460	102.779600	167.30
โรงพยาบาลอุดรธานี	17.415590	102.770400	167.40	17.415550	102.781000	166.20
วัดโพธิ์สมภรณ์	17.412620	102.779400	166.10	17.412820	102.779800	166.10
สี่แยกวัดโพธิ์สมภรณ์	17.412150	102.779100	165.40	17.411930	102.779500	165.20

ตารางที่ ข.1 แสดงค่าพิกัดและระดับเฉลี่ยในเส้นทางที่ 1 ของเครื่องรับ GPS-GM80 ก่อนและหลังทำการปรับแก้ค่า (ต่อ)

ตำแหน่ง	GPS- GM80 ก่อนทำการปรับแก้ค่าตำแหน่ง			ค่าจาก GPS – GM 80 เมื่อทำการปรับแก้ค่าตำแหน่งใหม่		
	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)
ร.ร. สตรีราชินุทิศ	17.408100	102.780100	155.20	17.40866	102.780300	155.20
ร.ร.อนุบาลอุดรธานี	17.407670	102.78300	156.40	17.40806	102.781300	156.70
ร.ร.อุดรพิทยานุกูล	17.406810	102.782400	162.50	17.4072	102.782700	161.80
สำนักงานป่าไม้	17.404070	102.787500	161.70	17.40458	102.787800	160.90
สภอ. เมืองอุดรธานี	17.404350	102.787000	165.10	17.40482	102.787300	165
ไปรษณีย์ศรีสุข	17.403020	102.789400	160	17.40353	102.789700	160.80
ร.ร.บ้านหมากแข้ง	17.401860	102.791400	163.80	17.40249	102.791700	163.70
สำนักงานประ ถมศึกษา	17.401340	102.792400	166.80	17.40185	102.792692	166.5

ตารางที่ ข.2 ค่าพิกัดและระดับเฉลี่ยในเส้นทางที่ 1 ของเครื่องรับ GPS – 12

ตำแหน่ง	GPS – 12		
	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)
อาร์ตมินิมาร์ท	17.39454	102.79565	158.1
สามแยก ช.จินตคาม	17.395	102.7971	155.2
ไฮเทคสแคว	17.39577	102.79689	156.9
7-Eleven ถนนทหาร	17.39854	102.7949	155.9
ม.ราชภัฏอุดรธานี	17.39944	102.79475	157.7
วงเวียนกรมหลวงประจักษ์	17.40084	102.79446	194.1
วงเวียนห้าแยกน้ำพุ	17.40427	102.7935	187.5
ตลาดห้าแยกสแควร์	17.40488	102.7928	186.4
ร้านอาหารมิสเตอร์ที	17.4061	102.7902	184.2
โรงแรมคิงส์	17.40925	102.7847	173.2
สถานีดับเพลิง	17.41156	102.78384	162.1

ตารางที่ ข.2 ค่าพิกัดและระดับเฉลี่ยในเส้นทางที่ 1 เมื่อของเครื่องรับ GPS – 12 (ต่อ)

ตำแหน่ง	GPS – 12		
	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)
สำนักงานตำรวจท่องเที่ยว	17.41285	102.78435	162.5
พาลวิลเลียนสปา	17.42059	102.7845	164.8
โรงพยาบาลวัฒนา	17.42135	102.78351	161.4
ร้านอาหารกินลมชมวิว	17.92187	102.78287	161.2
สำนักงานเกษตรจังหวัด	17.42254	102.7798	165.8
พระตำหนักหนองประจักษ์	17.42268	102.77832	168.1
สำนักงานประปา	17.41915	102.77884	164.2
ร้านอาหารกุดเทพเวอร์ดี	17.41855	102.77957	166.4
โรงพยาบาลอุดรธานี	17.41547	102.78103	165.3
วัดโพธิ์สมภรณ์	17.41279	102.7797	165.4
สี่แยกวัดโพธิ์สมภรณ์	17.41182	102.77945	166.7
สี่แยกอาชีวศึกษา	17.40986	102.7782	165.1
ร.ร. สตรีราชินุทิศ	17.40867	102.7804	154.7
ร.ร.อนุบาลอุดรธานี	17.40801	102.7812	155.5
ร.ร.อุดรพิทยานุกูล	17.40748	102.78267	161.7
สำนักงานป่าไม้	17.40446	102.787896	161.4
สกอ. เมืองอุดรธานี	17.40474	102.7875	165.2
ไปรษณีย์ศรีสุข	17.40352	102.789719	161.2
ร.ร.บ้านหมากแข้ง	17.40235	102.79151	162.7
สำนักงานประถมศึกษา	17.40136	102.79255	165.4

เส้นทางที่ 2

ตารางที่ ข.3 แสดงค่าพิกัดและระดับเฉลี่ยในเส้นทางที่ 2 ของเครื่องรับ GPS-GM80 ก่อนและหลังทำการปรับแก้

ตำแหน่ง	GPS- GM80 ก่อนทำการปรับแก้ค่าตำแหน่ง			ค่าจาก GPS – GM 80 เมื่อทำการปรับแก้ค่าตำแหน่งใหม่		
	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)
คริสตจักร	17.39401	102.7963	184.3	17.39434	102.7956	184.4
Art MiniMart	17.39428	102.7972	184.5	17.39476	102.7969	184.5
ปากซอยจินตคาม	17.39482	102.7982	182.3	17.39517	102.7974	184.4
Hightech พลาซ่า	17.39694	102.7974	185.9	17.39576	102.197	183.3
7-Eleven ถนนทหาร	17.39869	102.7959	187.8	17.39867	102.7953	187.7
ม.ราชภัฏอุดรธานี	17.39955	102.7956	186.6	17.39949	102.7951	187.4
วงเวียนกรมหลวงประจักษ์ ประจักษ์	17.40097	102.7957	199	17.40086	102.7952	190.54
วงเวียน ห้าแยกน้ำพุ	17.40436	102.7944	190.5	17.40436	102.7941	191.9
ตลาดผ้า ห้าแยก	17.40519	102.7943	192	17.40503	102.7937	192.9
7-Eleven ห้าแยกน้ำพุ	17.40556	102.7994	191.9	17.40541	102.7937	193.8
วงเวียนหอนาฬิกา	17.40756	102.7936	195.4	17.40746	102.7933	195.4
7-Eleven อุดรคูน	17.40968	102.7932	197.1	17.40961	102.7928	197.3
กสท.(CAT)	17.41306	102.7923	198.4	17.41306	102.794	197.7
สี่แยกชลประทาน	17.41414	102.7923	201.8	17.41349	102.792	202
TOT	17.41219	102.7959	194.5	17.4116	102.7953	194.5
โรงแรมการิน	17.4116	102.7969	194.4	17.41097	102.7966	194.4
อาคารแจ่มเจริญ	17.4112	102.7978	194.3	17.41055	102.7974	194.4
สี่แยกพัฒนานางวงศ์	17.4099	102.8001	200.6	17.40919	102.7999	199.5
สามแยก ชิมรณานนท์	17.4085	102.8021	183.3	17.40836	102.8018	184.3
รร.เจริญศรีแกรนด์	17.40731	102.8014	202.2	17.40736	102.8014	202.1
เจริญศรีคอมเพล็กซ์	17.4056	102.8008	204.3	17.40582	102.8004	204
สี่แยกเจริญศรี	17.40438	102.8002	205.9	17.40446	102.7998	204.6
7-Eleven บขส.	17.40384	102.8002	204	17.40388	102.7996	206
บขส. เก่า	17.40322	102.7995	203.1	17.40322	102.8001	205.8

ตารางที่ ข.3 แสดงค่าพิกัดและระดับเฉลี่ยในเส้นทางที่ 2 ของเครื่องรับ GPS-GM80 ก่อนและหลังทำการปรับแก้ค่า (ต่อ)

ตำแหน่ง	GPS- GM80 ก่อนทำการปรับแก้ค่าตำแหน่ง			ค่าจาก GPS – GM 80 เมื่อทำการปรับแก้ค่าตำแหน่งใหม่		
	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)
สี่แยก ถ.โพธิ์ศรี	17.40111	102.8002	202.1	17.40154	102.7993	205.7
ร้านซ่อมรถ	17.40129	102.7989	199.2	17.40136	102.79868	209.3
ประดับยนต์	17.40317	102.798	199.3	17.40125	102.798	207
ศูนย์ยามาฮ่า	17.40094	102.796	199.6	17.40094	102.796	199.6

ตารางที่ ข.4 ค่าพิกัดและระดับเฉลี่ยในเส้นทางที่ 2 จาก GPS -12

ตำแหน่ง	GPS – 12		
	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)
คริสตจักร	17.39448	102.7957	183.5
Art MiniMart	17.39489	102.7975	182.7
ปากซอยจินตคาม	17.39558	102.7963	183.5
Hightech	17.39574	102.196	182.5
7-Eleven	17.39892	102.7951	184.7
ม.ราชภัฏอุดรธานี	17.39994	102.7953	188.6
กรมหลวง	17.40043	102.7955	193.44
ห้าแยกน้ำพุ	17.40451	102.79435	190.2
ตลาดผ้า ห้าแยก	17.40548	102.7933	191.5
7-Eleven ห้าแยกน้ำพุ	17.40576	102.79382	191.5
หอนาฬิกา	17.40746	102.79231	194.7
7-Eleven อุดรคูขี้	17.40992	102.7943	199.2
CAT	17.41345	102.793	198.1
สี่แยกชลประทาน	17.4132	102.795	201.2

ตารางที่ ข.4 ค่าพิกัดและระดับเฉลี่ยในเส้นทางที่ 2 จาก GPS -12 (ต่อ)

ตำแหน่ง	GPS – 12		
	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)
TOT	17.4117	102.7954	193.1
โรงแรมการิน	17.41044	102.7944	199.4
อาคารแจ่มเจริญ	17.41024	102.7953	192.4
สี่แยกวัฒนาวงศ์	17.40973	102.7996	198.4
สามแยก ชิมชนนันท	17.40871	102.8013	187.3
เจริญศรีแกรนด์	17.40741	102.80145	203.5
เจริญศรีคอมเพล็กซ์	17.40515	102.8012	208
สี่แยกเจริญศรี	17.40473	102.79975	203.1
7-Eleven บขส.	17.40313	102.79954	205
บขส. เก่า	17.40373	102.80015	204.2
สี่แยก ถ. โพธิ์ศรี	17.40144	102.79923	204.9
ร้านซ่อมรถ	17.40145	102.79879	210.5
ประดับยนต์	17.40143	102.7986	203
ศูนย์ยามาฮ่า	17.40061	102.7965	198.2

เส้นทางที่ 3

ตารางที่ ข.5 แสดงค่าพิกัดและระดับเฉลี่ยในเส้นทางที่ 3 ของเครื่องรับGPS-GM80 ก่อนและหลังทำการปรับแก้ค่า

ตำแหน่ง	GPS- GM80 ก่อนทำการปรับแก้ค่าตำแหน่ง			ค่าจาก GPS – GM 80 เมื่อทำการปรับแก้ค่าตำแหน่งใหม่		
	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)
วงเวียนกรมหลวงประจักษ์	17.40116	102.795	169.6	17.40091	102.7947	170
สำนักงานประถมศึกษา	17.40197	102.7929	168	17.4015	102.7928	168.9
รร.บ้านหมากแข้ง	17.40194	102.7918	166.9	17.40225	102.792	167.5
สามแยก ร.ร.หมากแข้ง	17.40237	102.7908	165	17.40302	102.7905	165.9
สามแยกศรีชมชื่น	17.4011	102.789	166.2	17.40094	102.7893	166.1

ตารางที่ ข.5 แสดงค่าพิกัดและระดับเฉลี่ยในเส้นทางที่ 3 ของเครื่องรับ GPS-GM80 ก่อนและหลังทำการปรับแก้ค่า (ต่อ)

ตำแหน่ง	GPS- GM80 ก่อนทำการปรับแก้ค่าตำแหน่ง			ค่าจาก GPS – GM 80 เมื่อทำการปรับแก้ค่าตำแหน่งใหม่		
	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)
วิทยาลัยสารพัดช่าง	17.39973	102.7882	163.9	17.39942	102.7886	164.4
7 Eleven จินตคาม	17.39795	102.7875	161.1	17.3978	102.7877	161.1
ร.ร. โปธิเทคนิค	17.39767	102.7872	162.2	17.39749	102.7876	162.2
คลองหมากแข้ง	17.39603	102.7886	163.1	17.39596	102.7884	163.2
วิทยาลัยช่างกล	17.39612	102.7903	164.7	17.39565	102.7902	165.3
วิเคแมนชั่น	17.3955	102.7919	167.5	17.39512	102.7919	167.6
หอพัก	17.394754	102.7942	170.2	17.39419	102.7941	170.1
ทางโค้งโลตัสคอนโดเทล	17.39404	102.7949	173.3	17.39391	102.7949	170.8
คริสตจักร	17.39416	102.7963	175.3	17.39447	102.7961	175.3
อาร์ตมินิมาร์ท	17.39443	102.797	173.8	17.3948	102.7967	171.6
ปากซอยจินตคาม	17.3959	102.7981	171.6	17.3952	102.7974	168.2
ไฮเทคพลาซ่า	17.39574	102.7971	171.3	17.39599	102.7977	171.2
7 Eleven ถนนทหาร	17.39881	102.796	170.2	17.39852	102.7954	170.2
ม.ราชภัฏอุดรธานี	17.39961	102.7958	169.8	17.39945	102.7953	170.3

ตารางที่ ข.6 แสดงค่าพิกัดและระดับเฉลี่ยในเส้นทางที่ 3 ของเครื่องรับ GPS-12

ตำแหน่ง	GPS – 12		
	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)
วงเวียนกรมหลวงประจักษ์ประจักษ์	17.40094	102.7945	171.2
สำนักงานประถมศึกษาศึกษา	17.4012	102.7923	168.9
ร.ร. บ้านหมากแข้ง	17.40222	102.7923	166.5
สามแยก ร.ร.หมากแข้ง	17.40305	102.7908	164.3
สามแยกศรีชมชื่น	17.40092	102.7889	165.6

ตารางที่ ข.6 แสดงค่าพิกัดและระดับเฉลี่ยในเส้นทางที่ 3 ของเครื่องรับ GPS-12 (ต่อ)

ตำแหน่ง	GPS – 12		
	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)
วิทยาลัยสารพัดช่าง	17.39946	102.7889	165.2
7 Eleven สาขาจินตคาม	17.3972	102.7871	160.9
ร.ร. โปลีเทคนิค	17.39744	102.7872	161.5
คลองหมากแข้ง	17.39592	102.7887	162.8
วิทยาลัยช่างกล	17.39567	102.7907	162.9
วิเคแมนชั่น	17.39515	102.7917	166.8
หอพัก	17.39414	102.7948	171.5
ทางโค้งโลตัสคอนโดเทล	17.39396	102.79493	171.2
คริสตจักร	17.39444	102.7965	174.2
อาร์ตมินิมาร์ท	17.3943	102.7965	172.4
ปากซอยจินตคาม	17.3957	102.7971	167.8
ไฮเทคพลาซ่า	17.39594	102.7972	170.5
เซเวนอีเลเวน ถนนทหาร	17.39857	102.7952	170.7
ม.ราชภัฏอุดรธานี	17.39942	102.7951	170.8

เส้นทางที่ 4

ตารางที่ ข.7 แสดงค่าพิกัดและระดับเฉลี่ยเส้นทางที่ 4 ของเครื่องรับ GPS – GM 80 ก่อนและหลังทำการปรับแก้ค่า

ตำแหน่ง	GPS- GM80 ก่อนทำการปรับแก้ค่าตำแหน่ง			ค่าจาก GPS – GM 80 เมื่อทำการปรับแก้ค่าตำแหน่งใหม่		
	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)
วงเวียนกรมหลวงประจักษ์ ประจักษ์	17.40105	102.7952	167.8	17.40067	102.7948	165.9
วงเวียนห้าแยกน้ำพุ	17.40492	102.7985	165.4	17.40455	102.7942	165.5

ตารางที่ ข.7 แสดงค่าพิกัดและระดับเฉลี่ยในเส้นทางที่ 4 ของเครื่องรับ GPS – GM 80 ก่อนและหลังทำการปรับแก้ค่า (ต่อ)

ตำแหน่ง	GPS- GM80 ก่อนทำการปรับแก้ค่าตำแหน่ง			ค่าจาก GPS – GM 80 เมื่อทำการปรับแก้ค่าตำแหน่งใหม่		
	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)
ตลาดผ้าห้าแยก	17.40516	102.7951	167.5	17.40507	102.7938	165.5
7-Eleven วงเวียนน้ำพุ	17.40599	102.7952	167.5	17.40568	102.7938	165.5
วงเวียนห้าแยกหอนาฬิกา	17.40726	102.7976	164.9	17.40752	102.7934	165.7
7-Eleven สาขาอุดรชัย	17.40955	102.7941	164.8	17.40972	102.7928	162
CAT	17.41357	102.7963	164.9	17.41327	102.792	161.9
สี่แยกแยกชลประทาน	17.41392	102.7956	164.8	17.41388	102.7918	162
ศาล จังหวัด	17.41897	102.7906	163.8	17.4153	102.7889	161.9
สนง. ไปรษณีย์อุดรธานี	17.41583	102.797	163.1	17.41621	102.7872	162.2
ศาลเจ้า	17.41411	102.7897	166.1	17.41448	102.7869	164
ศาลากลางจังหวัด	17.41385	102.7903	167.8	17.41418	102.7876	165.9
ศาลหลักเมือง	17.41356	102.7978	168.7	17.41393	102.788	167.6
เทศบาลนครอุดรธานี	17.413912	102.7824	169.7	17.41356	102.7886	168.2
ข้าวต้มกันเอง	17.41214	102.7891	164.4	17.41181	102.7876	169.5
สามแยก ถนนประจักษ์	17.41118	102.7954	172.2	17.4107	102.7869	170.8
รร.เจริญศรีพาลาช	17.40822	102.7797	172.8	17.4087	102.7856	170.9
สามแยกถนนโพธิ์ศรี	17.40789	102.7975	177.6	17.40741	102.7884	174.7
สี่แยกถนนศรีสุข	17.40496	102.7894	177.7	17.40503	102.7868	179
สถานีตำรวจ	17.40457	102.7824	177.1	17.40472	102.7875	179.3
สำนักงานป่าไม้	17.40485	102.7811	177.5	17.40441	102.7878	179.6
สนง. ไปรษณีย์ศรีสุข	17.40396	102.7952	178.1	17.40367	102.7912	181.5
ร.ร.บ้านหมากแข้ง	17.40306	102.7931	182.5	17.40262	102.7919	186.7
สำนักงานประถมศึกษา ศึกษา	17.4024	102.7956	187.5	17.40199	102.7926	186.4
ม.ราชภัฏอุดรธานี	17.39854	102.7922	183.4	17.39946	102.7951	181.3
7-Eleven สาขาถนนทหาร	17.3958	102.79512	182.3	17.39882	102.7954	180.3

ตารางที่ ข.8 ค่าพิกัดและระดับเฉลี่ยในเส้นทางที่ 4 จากเครื่องรับ GPS-12

ตำแหน่ง	GPS – 12		
	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)
วงเวียนกรมหลวงประจักษ์ ประจักษ์	17.40061	102.7942	164.7
วงเวียนห้าแยกน้ำพุ	17.40442	102.7945	166.5
ตลาดผ้าห้าแยก	17.40501	102.7935	166.5
7-Eleven วงเวียนน้ำพุ	17.40562	102.794	166.5
วงเวียนห้าแยกหอนาฬิกา	17.40757	102.7939	166.7
7-Eleven สาขาอุดรชัย	17.40978	102.7924	163.6
CAT	17.41314	102.7922	162.5
สี่แยกแยกชลประทาน	17.41382	102.7916	161.5
ศาล จังหวัด	17.4146	102.7887	163.2
สนง. ไปรษณีย์อุดรธานี	17.41627	102.7876	162.7
ศาลเจ้า	17.41446	102.7862	164.8
ศาลากลางจังหวัด	17.41415	102.7874	164.9
ศาลหลักเมือง	17.41395	102.7883	168.6
เทศบาลนครอุดรธานี	17.41352	102.7882	168.5
ข้าวต้มกันเอง	17.41187	102.7879	169.2
สามแยก ถนนประจักษ์	17.4105	102.7861	171.2
ร.ร.เจริญศรีพาเลซ	17.4086	102.7859	171.5
สามแยกถนนโพธิ์ศรี	17.40735	102.7881	175.5
สี่แยกถนนศรีสุข	17.40506	102.7867	178.2
สถานีตำรวจ	17.40479	102.7873	178.3
สำนักงานป่าไม้	17.40449	102.7873	178.6
สนง. ไปรษณีย์ศรีสุข	17.40362	102.7915	182.5
ร.ร.บ้านหมากแข้ง	17.40272	102.7917	185.5
สำนักงานประถมศึกษา ศึกษา	17.40192	102.7929	187.4
ม.ราชภัฏอุดรธานี	17.39941	102.7954	182.3
7-Eleven สาขาถนนทหาร	17.39888	102.7958	181.8

เส้นทางที่ 5

ตารางที่ ข.9 แสดงค่าพิกัดและระดับเฉลี่ยในเส้นทางที่ 5 จาก เครื่องรับ GPS-GM80 ก่อนและหลังทำการปรับแก้

ตำแหน่ง	GPS- GM80 ก่อนทำการปรับแก้ตำแหน่ง			ค่าจาก GPS – GM 80 เมื่อทำการปรับแก้ตำแหน่งใหม่		
	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)
ป้อมบางจาก	17.39504	102.7981	206	17.39669	102.8132	207.4
ไฮเทคพลาซ่า	17.39599	102.7975	207	17.39578	102.7971	206
7-Eleven ถนนทหาร	17.39881	102.7979	204	17.39876	102.7955	192.2
ม.ราชภัฏอุดรธานี	17.39964	102.7967	194	17.39955	102.7952	193.1
วงเวียนกรมหลวงประจักษ์ ประจักษ์	17.40088	102.7957	195	17.40084	102.7948	194.1
ศูนย์ยามาฮ่า	17.40123	102.7968	193	17.40091	102.7959	193.2
สี่แยก บขส.	17.40188	102.7993	194	17.40151	102.7993	194
รร.เจริญโฮเทล	17.40061	102.8012	195	17.40119	102.8001	195.7
เอ็มโอช	17.3995	102.8016	196	17.39978	102.8028	196.4
สำนักงานตรวจคนเข้าเมือง	17.39908	102.8024	197	17.39941	102.8036	196.7
โรงพยาบาลเอกอุดร	17.39918	102.8039	196	17.39918	102.8041	196.9
Aussie Pub2	17.40229	102.8039	194	17.40225	102.8042	193.8
เพิงนี้อย่างเกาหลี	17.4081	102.8039	193	17.4031	102.8042	193.1
สี่แยกสถานีรถไฟ	17.40434	102.8037	193	17.40429	102.8041	192.9
ตลาดเริ่มอุดม	17.40502	102.8038	196	17.4046	102.8036	192.9
ตลาดปรีชา	17.40488	102.8053	193	17.40442	102.8029	193.2
Kitaro อาหารญี่ปุ่น	17.40472	102.802	193	17.40433	102.8009	194.8
สี่แยกเจริญศรีพลาซ่า	17.40474	102.7999	195	17.4038	102.7999	195.1
Mojo Bar	17.40488	102.799	196	17.40446	102.7988	195.6
Stere Bar	17.40495	102.7988	195	17.40456	102.7983	195.5
Horse Shoe Bar	17.40499	102.7995	196	17.40467	102.7981	195.4
สี่แยกตลาดไทยอีสาน	17.40571	102.7971	196	17.40543	102.7967	195.4
วงเวียนน้ำพุ	17.4049	102.7953	197	17.40421	102.7942	198.5
กศ.น.	17.40329	102.7938	199	17.40338	102.794	198.9

ตารางที่ ข.10 ค่าพิกัดและระดับเฉลี่ยในเส้นทางที่ 5 ของเครื่องรับ GPS - 12

ตำแหน่ง	GPS - 12		
	ละติจูด _{avg} (องศา)	ลองจิจูด _{avg} (องศา)	ความสูง _{avg} (m)
ป่าบางจาก	17.39672	102.8131	207.2
ไฮเทคพลาซ่า	17.39575	102.7976	206.5
7-Eleven ถนนทหาร	17.39878	102.7959	191.5
ม.ราชภัฏอุดรธานี	17.39952	102.7954	193.4
วงเวียนกรมหลวง ประจักษ์ประจักษ์	17.4008	102.7944	193.2
ศูนย์ยามาฮา	17.40095	102.7956	192.6
สี่แยก บขส.	17.40155	102.7997	193.5
รร.เจริญโฮเทล	17.40121	102.8002	195.5
एमโอช	17.39975	102.8026	195.6
สำนักงานตรวจคนเข้า เมือง	17.39943	102.8034	195.9
โรงพยาบาลเอกอุดร	17.39915	102.8044	195.7
Aussie Pub2	17.40223	102.8045	193.5
เพ็ญเนื่ออย่างเกาหลี่	17.4035	102.8045	193.6
สี่แยกสถานีรถไฟ	17.40445	102.8047	192.5
ตลาดเริ่มอุดม	17.4048	102.8033	191.8
ตลาดปรีชา	17.40446	102.8024	192.7
Kitaro อาหารญี่ปุ่น	17.40436	102.801	195.5
สี่แยกเจริญศรีพลาซ่า	17.4041	102.7995	194.6
Mojo Bar	17.40449	102.7984	195.2
Stere Bar	17.40452	102.7988	195.7
Horse Shoe Bar	17.40463	102.7984	195.2
สี่แยกตลาดไทยอีสาน	17.40549	102.7962	194.5
วงเวียนห้าแยกน้ำพุ	17.40428	102.7945	199.9
กศ.น.	17.40334	102.7942	197.8

ภาคผนวก ค
การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์

TISD2006

Technology and Innovation

for Sustainable Development Conference

25-26 January 2006

เอกสารรวมบทคัดย่อ Abstract Summary



Faculty of Engineering,
Khon Kaen University



EGAT Public Company Limited



North-Eastern Engineering Institute of Thailand
Under H.M. the King's Patronage



Energy Management and Conservation Office (EMCO)
Khon Kaen University



Sustainable Infrastructure Research and
Development Center (SIRDG)



Research Center for Environmental and
Hazardous Substance Management



Agricultural Machinery and Robotics
Technology Center

Error Reduction of a Low Cost GPS Receiver for Vehicle Tracking System

จุไรรัตน์จินดา อรรถนิตย์* ดร.ชัยภัฏ วรณะสาร รศ.มงคล ลีประกอบบุญ รศ.สถาพร อุดมสิน
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*E-mail: churairatchinda@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอวิธีการปรับแก้ค่าตำแหน่งของเครื่องรับ GPS ราคาต่ำให้ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น โดยนำค่าตำแหน่งเดิมของเครื่องรับ GPS ดังกล่าวมาใช้ในการปรับแก้ตำแหน่งใหม่ โดยวิธีการของตัวกรองคาลมานแบบเปลี่ยนตามเวลา (time-varying Kalman filter) ซึ่งสามารถแก้ไขตำแหน่งที่ทราบค่าและคำนวณความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งนั้น สำหรับตำแหน่งที่มีความถูกต้องสามารถคำนวณจากสมการสเตทของแบบจำลองความผิดพลาดซึ่งมีตัวแปรสเตท 9 ตัวคือ ความเร่ง ตำแหน่ง และความสูงของแกนอ้างอิงทั้ง 3 แกน สำหรับการทดลองจะใช้ข้อมูลที่ได้จากเครื่องรับ GPS ของบริษัท Holux (GPS – GM80) ซึ่งเป็น GPS ราคาต่ำ นำมาปรับแก้ค่าด้วยโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อจำลองความผิดพลาดและปรับแก้ค่าด้วยตัวกรองคาลมานแบบเปลี่ยนตามเวลา ซึ่งค่าที่ได้ก่อนปรับแก้และหลังปรับแก้จะถูกนำมาแสดงผลเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเครื่องรับ GPS มาตรฐานของบริษัท Garmin (GPS-12) โดยอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูป GPSTrackmaker ในการพล็อต ค่า GPS ทั้งสอง ลงบนฐานข้อมูลแผนที่ซึ่งมีข้อมูลตำแหน่งจากการสำรวจทั้งสิ้น 1,000 จุด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าที่ปรับแก้จาก GPS-GM80 ซึ่งมีราคาต่ำและความผิดพลาดสูง จะมีความถูกต้องแม่นยำใกล้เคียงกับ GPS-12 ซึ่งมีราคาและคุณภาพสูงกว่าได้ ดังนั้นวิธีการที่นำเสนอนี้สามารถใช้แก้ไขความผิดพลาดของ GPS ราคาต่ำที่ทำงานแบบตัวเดียว (stand alone) เพื่อให้ได้ข้อมูลตำแหน่งที่ถูกต้องมากขึ้นได้ ทั้งในกรณีที่มีสัญญาณและบริเวณที่มีสัญญาณระดับต่ำได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ GPS, Kalman Filter, Digital Filter, State Observer, Vehicle Tracking ,Position Error

1. บทนำ

ปัจจุบันมีผู้นิยมใช้เครื่องรับ GPS (Global Positioning System) ซึ่งพัฒนาโดยกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกาเป็นจำนวนมากเนื่องจากสามารถแสดงพิกัดตำแหน่งเป็นค่าละติจูด ลองจิจูด เวลา และความเร็ว ซึ่งสะดวกกับผู้ใช้งาน แต่เนื่องจากเครื่องรับ GPS นั้นยังมีราคาแพงและถูกจำกัดการใช้งานโดยหน่วยงานราชการ ทำให้ข้อมูลที่ได้มีความผิดพลาดหรือคลาดเคลื่อน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ทำให้เกิดความผิดพลาดเกิดขึ้น เช่น สภาพของชั้นบรรยากาศ ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากเวลาและวงโคจรของดาวเทียม รวมถึงสัญญาณรบกวนที่มาจากสัญญาณจากดาวเทียม และที่เกิดจากเครื่องรับ GPS เองด้วย ระบบดาวเทียม GPS จะใช้ดาวเทียมซึ่งโคจรอยู่ในระดับความสูงจากพื้นโลกที่พ้นจากคลื่นวิทยุรบกวน โดยใช้

ดาวเทียมจำนวน 24 ดวงใน 6 วงโคจร สัญญาณจะถูกส่งจากดาวเทียม GPS แต่ละดวงไปสู่เครื่องรับ GPS โดยที่สัญญาณจะมีความถี่นำคลื่น 2 ความถี่ คือ สัญญาณ L1 ใช้ความถี่ 1,575.42MHz และสัญญาณ L2 ใช้ความถี่ 1,227.60MHz วิธีการวัดระยะของดาวเทียม GPS สามารถคำนวณจากระยะทางของรูปสามเหลี่ยมระหว่างดาวเทียมแต่ละดวงกับเครื่องรับสัญญาณ ซึ่งจะต้องรับสัญญาณดาวเทียมให้ได้อย่างน้อย 3 ดวง จึงจะได้ข้อมูลที่ถูกต้อง [1] สำหรับบทความนี้จะนำเครื่องรับสัญญาณ GPS ราคาต่ำและมีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งมาปรับแก้ค่าตำแหน่งให้มีความผิดพลาดลดลง และนำผลมาใช้ในการบอกตำแหน่งของยานพาหนะด้วยโปรแกรม GPS Trackmaker

สาเหตุที่ทำให้เครื่องรับสัญญาณ GPS อ่านค่าผิดพลาดดังที่กล่าวถึงข้างต้น จะให้ข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ผิดพลาดมากพอสมควร ดังนั้นผู้ใช้งานจำเป็นต้องหาวิธีลดค่าความผิดพลาด ซึ่งทำได้หลายวิธีด้วยกัน แต่วิธีการที่นิยมใช้คือ การปรับค่าผลต่างของ GPS 2 ตัวแบบเวลาจริง (real-time differential GPS) ซึ่งใช้หลักการทำนายค่าความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ส่วนในบทความนี้จะนำเสนอวิธีการทำนายค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยใช้ตัวกรองสัญญาณแบบคาลมานซึ่งมีข้อดีคือ สามารถใช้เครื่องรับ GPS เพียงตัวเดียว

2. หลักการหาตำแหน่งที่ถูกต้อง (Precise Point Positioning)

การหาตำแหน่งที่ถูกต้องของเครื่องรับสัญญาณแบบเดี่ยวใช้หลักพื้นฐานของ Pseudorange ด้วยกระบวนการของ Carrier-phase โดยรับข้อมูลจากเครือข่ายของดาวเทียม GPS ที่มีอยู่ทั่วโลก แล้วนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการหาตำแหน่งตำแหน่ง เวลาและค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น โดย Ron Hatch (1982) เลือกใช้วิธีการของ Pseudorange พิจารณาถึงความราบเรียบของ Carrier-Phase ของกระบวนการเมื่อใช้เครื่องรับสัญญาณ GPS ตัวเดียว และทำการวัดค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนเมื่อมีการรวมตัวกันของ Pseudorange และ Carrier-Phase โดยประมาณค่าตัวแปรที่สงสัยเป็น Carrier-Phase ซึ่งความราบเรียบของ Pseudorange ขึ้นอยู่กับความต่อเนื่องของสัญญาณ การวัดค่า Carrier-Phase และการประมาณค่าตัวแปรที่สงสัย

ในแบบจำลองความผิดพลาดเชิงตำแหน่งของ GPS จำเป็นต้องพิจารณาความสัมพันธ์ของเวลาในการโคจรของดาวเทียม GPS กับวงโคจรของดาวเทียมซึ่งวัดจากจุดศูนย์กลางมวลของดาวเทียม GPS และปัจจัยอื่นๆ ในการหมุนของโลกที่จะมีอิทธิพลต่อการโคจรของดาวเทียม GPS เช่น ฤดูกาล น้ำขึ้นน้ำลง

ซึ่งในการกำหนดสมการสเตทของความผิดพลาดจาก GPS จะต้องคำนึงถึงความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากวงโคจรและเวลา ในการเคลื่อนที่ของดาวเทียมด้วยเพื่อที่จะสามารถหาค่าตำแหน่ง ที่ถูกต้อง [5]

3. แบบจำลองของตัวกรองสัญญาณแบบคาลมาน

ตัวกรองคาลมาน (Kalman filter) เป็นสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาสมการสเตท ด้วยการคำนวณซ้ำ (recursive) หรือนำค่าเดิมมาคำนวณหาค่าใหม่ ดังนั้นจึงมีเฉพาะค่าเดิมที่จะนำมาใช้ในการประมาณค่า ตัวกรองคาลมานเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับดิจิตอลคอมพิวเตอร์และแบบจำลองความผิดพลาดของระบบในรูปของสมการสเตทสเปซ หลักการของตัวกรองคาลมานมี 2 ขั้นตอน คือ ขั้นที่ 1 การทำนายหรือการปรับแก้ค่าเวลาและค่าที่เกิดขึ้นก่อน x_k ส่วนในขั้นตอนที่ 2 คือ ใช้สมการเครื่องมือวัด Z_k เพื่อประมาณค่าที่เกิดขึ้นที่หลัง x_{k+1} สมการพื้นฐานของตัวกรองคาลมานเป็นดังนี้

3.1 แบบจำลองเวลาดิสครีต (Discrete- time model)

แบบจำลองเวลาดิสครีต ของตัวกรองคาลมานถูกกำหนดด้วยสมการสเตทของกระบวนการ ดังนี้

$$\begin{aligned} X_{k+1} &= \Phi_k X_k + W_k \\ Y_k &= B_k X_k \end{aligned} \quad (1)$$

โดยที่

X_k คือ สเตทเวกเตอร์ของกระบวนการที่เวลา t_k

Φ_k คือ เมตริกซ์สเตททรานสิชัน แสดงการเปลี่ยน X_k เป็น X_{k+1}

W_k คือ ไวท์นอยส์เวกเตอร์

B_k คือ เมตริกซ์ความสัมพันธ์ของ Y_k และสเตท X_k

สมการเครื่องมือวัด คือ

$$Z_k = H_k X_k + V_k \quad (2)$$

โดยที่

Z_k คือ เมตริกซ์ของค่าทำนาย ขนาด $m \times m$

H_k คือ เมตริกซ์ของการวัด ขนาด $m \times n$

V_k คือ เวกเตอร์สัญญาณรบกวนของการวัด ขนาด $m \times 1$

3.2 แบบจำลองความผิดพลาดของความเฉื่อยสำหรับระบบนำทาง

ความเฉื่อยของระบบนำทางหรือเรียกย่อๆว่า INS (Inertial Navigation System) เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เครื่องรับ GPS สามารถรับสัญญาณได้เร็วหรือช้าในพื้นที่ต่างๆ กัน ทั้งนี้เครื่องรับสัญญาณ GPS ที่มีราคาแพงจะมีความเฉื่อยของระบบนำทางต่ำ ทำให้สามารถรับสัญญาณได้ดีและเร็ว

ส่วนประกอบพื้นฐานของ INS ประกอบด้วยตัวตรวจวัด 2 ตัว คือ ไจโรสโคป (gyroscopes) และ เครื่องวัดความเร่ง (accelerometers) ไจโรสโคปจะทำหน้าที่วัดอัตราการหมุนหรือความเร็วเชิงมุม ซึ่งสามารถหาค่าที่ได้มาอินทิเกรตเทียบกับเวลา ให้เป็นค่าความสูงของดาวเทียมเทียบกับพื้นโลก ในส่วนของเครื่องวัดความเร่งจะทำการวัดความเร่งซึ่งเราสามารถเปลี่ยนเป็นค่า

ความเร็วได้โดยใช้การอินทิเกรตเทียบกับเวลา หรืออินทิเกรตครั้งที่สองเพื่อเปลี่ยนเป็นค่าของตำแหน่งได้

สมการอนุพันธ์อันดับหนึ่งซึ่งแทนกระบวนการของแบบจำลองความผิดพลาดของระบบสามารถเขียนได้เป็น [8]

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \\ \dot{x}_6 \\ \dot{x}_7 \\ \dot{x}_8 \\ \dot{x}_9 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -g & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{R_e} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \omega_x \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -g & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{R_e} & 0 & 0 & 0 & \omega_y \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}}_{F_{INS}} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \\ x_9 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ u_{ax} \\ u_{gx} \\ 0 \\ u_{ay} \\ u_{gy} \\ 0 \\ u_{az} \\ u_{gz} \end{bmatrix} \quad (3)$$

โดยที่

x_1 คือ ค่าความผิดพลาดของตำแหน่งในทิศตะวันออก (m)

x_2 คือ ค่าความผิดพลาดของความเร็วในทิศตะวันออก (m/sec)

x_3 คือ ค่ามุมยกในแนวแกน y (rad)

x_4 คือ ค่าความผิดพลาดของตำแหน่งในทิศเหนือ (m)

x_5 คือ ค่าความผิดพลาดของความเร็วในทิศเหนือ (m/sec)

x_6 คือ ค่ามุมยกในแนวแกน x (rad)

x_7 คือ ค่าความผิดพลาดของตำแหน่งในแนวตั้ง (m)

x_8 คือ ค่าความผิดพลาดของความเร็วในแนวตั้ง (m/sec)

x_9 คือ ค่าความผิดพลาดของมุม azimuth (rad)

3.3 แบบจำลองเวลาของเครื่องรับสัญญาณ GPS

แบบจำลองเวลามีตัวแปรสเตทที่เกี่ยวข้อง 2 ตัวแปรคือเฟสและค่าผิดพลาดเชิงความถี่ในเครื่องรับสัญญาณ GPS โดยใช้พื้นฐานในการประมาณค่าของเครื่องรับ GPS [7] โดยแบบจำลองนี้จะพิจารณาทั้งความถี่และเฟสที่เกิดขึ้นในขณะที่มีการเดินสำรวจในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ดังแสดงในสมการสุ่มเวลาต่อไปนี้

$$X_{ck+1} = \phi_{ck} X_{ck} + W_{ck} \quad (4)$$

$$\text{โดยที่ } X_{ck+1} = \begin{bmatrix} dt \\ dt^0 \end{bmatrix}, \phi_{ck} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q_{ck+1} = E[w_c w_c^T] = \begin{bmatrix} S_{dt} \Delta t + S_{dt} \frac{\Delta t^3}{3} & S_{dt} \frac{\Delta t^2}{2} \\ S_{dt} \frac{\Delta t^2}{2} & S_{dt} \Delta t \end{bmatrix} \quad (5)$$

S_{dt} และ S_{dd} คือขนาดของสเปกตรัมของไวท์นอยส์ ซึ่งสามารถหาค่าได้จากความสัมพันธ์ของตัวแปรของ Allan variance

4. โปรแกรมจำลองการทำงาน GPS และตัวกรองคาลมาน

สำหรับบทความนี้จะใช้ตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter) ในการปรับแก้ค่าตำแหน่งใหม่ของเครื่องรับ GPS เนื่องจาก

สัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมมีสัญญาณรบกวนเทียม (Pseudonoise) อยู่ด้วย โดยตัวกรองคาลมานนี้สามารถประมาณค่าความผิดพลาดแบบกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด (Least-square error) ได้ดีสำหรับสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนเทียมอยู่

ข้อได้เปรียบของตัวกรองสัญญาณแบบคาลมาน คือ

- 1) มีโครงสร้างที่ทำให้ได้ค่าที่ถูกต้องจากการประมาณค่า
- 2) รูปแบบของสมการเหมาะสำหรับกระบวนการที่มีการทำงานแบบทันทีทันใด (instantaneous)
- 3) มีสูตรและสมการที่เป็นพื้นฐานสำหรับการสร้างสัญญาณด้วยคอมพิวเตอร์
- 4) สมการเครื่องมือวัดสามารถคำนวณได้โดยตรง

การทำงานของแบบจำลองทางเวลาและแบบจำลองความเฉื่อย INS จะถูกทดสอบโดยใช้โปรแกรม Matlab ทำการจำลองระบบทั้งสอง สำหรับตัวกรองสัญญาณแบบคาลมานใช้ในการแก้ปัญหาสมการสเตท 9 ตัวแปรโดยพิจารณาในกรณีที่มีความเร่ง ส่วนแบบจำลองของเวลาใช้วิธีการของ Allan variance ในการแก้ปัญหาและเลือกใช้ค่า initial error variances ดังนี้

$$P = \begin{bmatrix} 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 10^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6.4 \times 10^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6.4 \times 10^{-3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10^6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6.4 \times 10^{-3} \end{bmatrix} \quad (6)$$

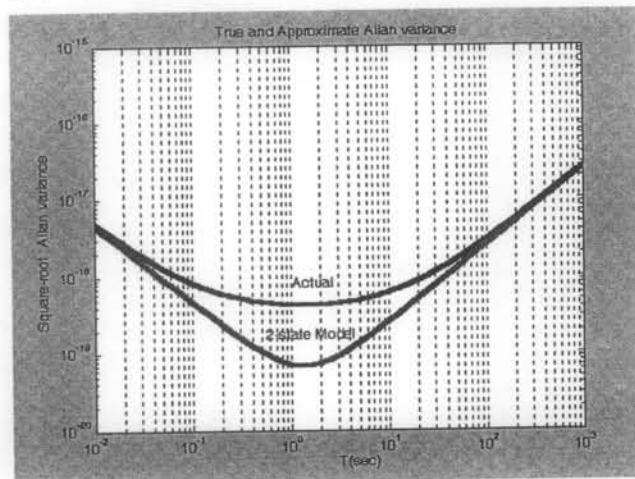
พิจารณาเงื่อนไขการเคลื่อนที่เป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 60 km/hr เป็นเวลา 15 นาที และเมื่อความเร็วเปลี่ยนเป็น 100 km/hr เป็นเวลา 15 นาทีโดยค่าของเมตริกซ์ Cosine direction H จะเปลี่ยนแปลงตามความเร็วและเวลา

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง เราได้ทำการเก็บข้อมูลตำแหน่ง 1,000 ตำแหน่งโดยใช้เครื่องรับ GPS GM-80 ของบริษัท Holux ซึ่งเป็นเครื่องรับ GPS ราคาต่ำ และเครื่องรับ GPS-12 ของบริษัท GARMIN ที่มีราคาในระดับกลาง เก็บข้อมูลในเขตเทศบาลนครอุดรธานี หลังจากทราบค่าตำแหน่ง X_i, Y_i และ Z_i ก็ทำการคำนวณค่าความผิดพลาดของตำแหน่งโดยแทนค่าที่ได้จากการวัดลงในแบบจำลองสำหรับทุกค่าของการวัด การทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองจะพิจารณาจากค่าความผิดพลาดของแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าความผิดพลาดที่เกิดจากข้อมูลของ GPS GM-80 เมื่อเทียบกับข้อมูลที่ได้จาก GPS-12 ซึ่งมีความถูกต้องกว่า

5. ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม Matlab

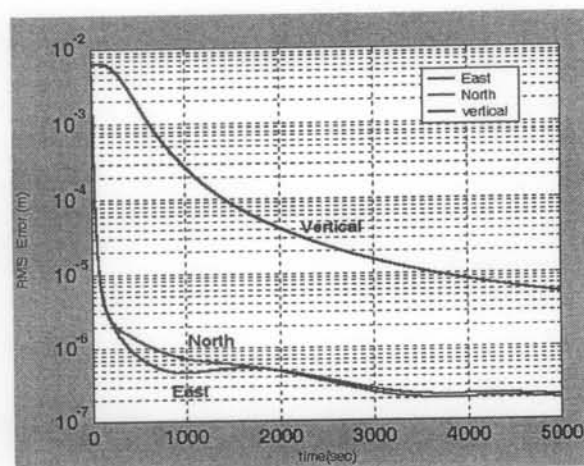
แบบจำลองทางเวลา ทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากการประมาณค่าจะได้กราฟลักษณะดังรูปที่ 4 จะเห็นว่าค่าจริงและค่าของแบบจำลองสองตัวแปร (2-state model) มีความผิดพลาดของเวลาโดยในเวลา 1 วินาทีค่าความผิดพลาดของเวลา

จริงมีค่า 0.6×10^{-18} ส่วนแบบจำลอง 2 ตัวแปร มีความผิดพลาด 0.7×10^{-19} ซึ่งค่าของแบบจำลอง 2 ตัวแปร มีค่าน้อยกว่า



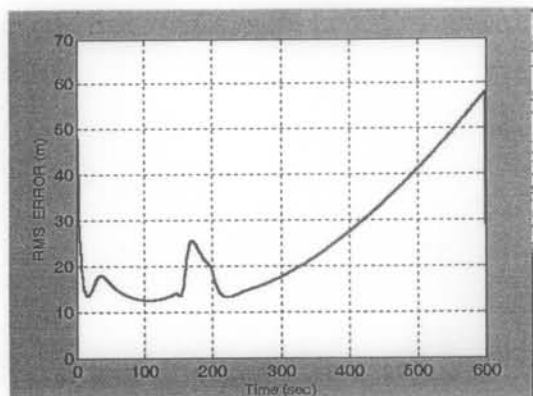
รูปที่ 1 เมื่อทำการสร้างแบบจำลองทางเวลา

เมื่อทำการสร้างแบบจำลองสมการสเตท 9 ตัวแปรแล้วใช้ตัวกรองคาลมานในการแก้ปัญหา โดยทำการจำลองสัญญาณด้วยโปรแกรม Matlab ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 2

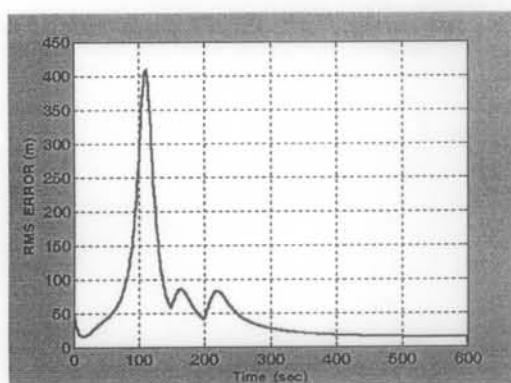


รูปที่ 2 แบบจำลองสมการ 9 ตัวแปรเมื่อผ่านตัวกรองคาลมาน

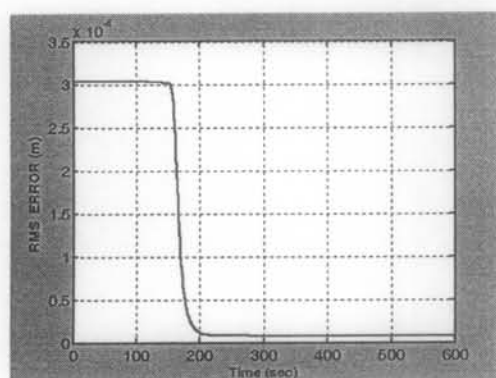
จากรูปที่ 2 เมื่อมีตัวกรองคาลมานระบบจะเข้าสู่เสถียรภาพได้เร็ว โดยความผิดพลาดขณะคงตัวของความสูง น้อยกว่าความผิดพลาดขณะคงตัวในแนวตะวันออกและแนวทิศเหนือทำการสร้างแบบจำลองเมื่อกรณีที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 60 km/hr เป็นเวลา 15 นาที และเมื่อความเร็วเปลี่ยนเป็น 100 km/hr เป็นเวลา 15 นาที และวาดกราฟค่าความผิดพลาดของตำแหน่งที่เกิดขึ้นในทิศตะวันออก ทิศเหนือ ความสูง และ แนวอะซิมุท



รูปที่ 3 ความผิดพลาดของตำแหน่งในแนวตะวันออก



รูปที่ 4 ความผิดพลาดของตำแหน่งในแนวทิศเหนือ



รูปที่ 5 ความผิดพลาดของตำแหน่งในแนวระนาบ

ตารางที่ 1 ค่าความผิดพลาดในแนวแกน X แกน Y และ แกน Z

Error Characteristic	ตำแหน่ง แกน X	ตำแหน่ง แกน Y	ตำแหน่ง แกน Z
Average(m)	0.001225	0.001257	0.01623
Variance(m ²)	0.006788	0.0006891	0.006348
Standard Deviation(m)	0.005236	0.005161	0.02128

เมื่อทำการทดลองเก็บข้อมูลจำนวน 1,000 จุดจะคำนวณหา ค่า Average ค่า Variance และค่า Standard Deviation ได้ดังตารางที่ 1 โดยจากการทดลองจะเห็นว่าค่า Standard Deviation Error น้อยกว่า 0.03 เมตรทั้ง 3 แกน

ตารางที่ 2 ผลต่างของ GPS-GM80 กับค่าที่ปรับแก้ด้วยตัวกรอง คาลมาน

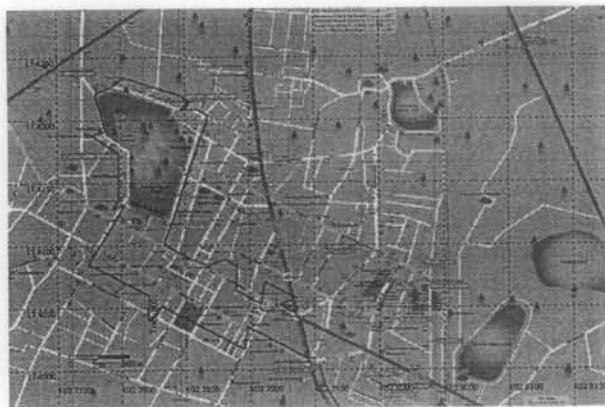
ตำแหน่ง	ผลต่างระหว่าง GPS GM-80 กับค่าที่ประมาณจาก แบบจำลอง (เมตร)	
	X	Y
สามแยก ช.จินตคาม	0.35901	0.54821
หน้า ม.ราชภัฏอุดรธานี	0.42471	0.63512
ห้าแยกน้ำพุ	0.59459	0.42879
เจริญศรีพาส	0.5112	0.54681
สถานีดับเพลิง	0.3772	0.45261
โค้งบ้านโนน	0.5419	0.65842
หน้าโรงพยาบาลวัฒนา	0.5482	0.36594
พระตำหนักหนองประจักษ์	0.6987	0.59681
สำนักงานประปา	0.46312	0.46852
โรงพยาบาลอุดรธานี	0.5986	0.67894
ร.ร. สตรีราชินูทิศ	0.3981	0.53694
ค่าเฉลี่ย	0.501394	0.537919

จากตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของตำแหน่งสำหรับ GM-80 ในแนวละติจูด มี ค่า 0.501394 เมตร แนวลองจิจูดมีค่า 0.537919 เมตร

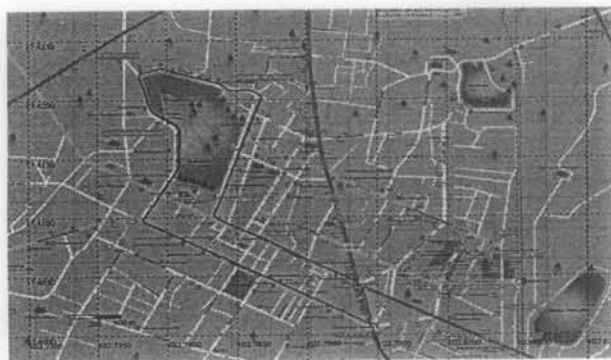
ตารางที่ 3 ผลต่างของ GPS12 กับ ค่าที่ปรับแก้ด้วยตัวกรอง คาลมาน

ตำแหน่ง	ผลต่างระหว่าง GPS12 กับค่าที่ประมาณจาก แบบจำลอง(เมตร)	
	X	Y
สามแยก ช.จินตคาม	0.15901	0.19763
หน้า ม.ราชภัฏอุดรธานี	0.14471	0.19824
ห้าแยกน้ำพุ	0.19469	0.19847
เจริญศรีพาส	0.5002	0.10007
สถานีดับเพลิง	0.1787	0.10045
โค้งบ้านโนน	0.10719	0.10007
หน้าโรงพยาบาลวัฒนา	0.11791	0.1003
พระตำหนักหนองประจักษ์	0.10719	0.19976
สำนักงานประปา	0.17861	0.19961
โรงพยาบาลอุดรธานี	0.13573	0.10015
ร.ร. สตรีราชินูทิศ	0.15002	0.10003
ค่าเฉลี่ย	0.179451	0.14498

จากตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของตำแหน่งสำหรับ GPS-12 ในแนวละติจูด มี ค่า 0.179451 เมตร แนวลองจิจูดมีค่า 0.14498 เมตร



รูปที่ 6 แผนที่เทศบาลนครอุดรธานี เส้นทางที่ 1 ตำแหน่งเดิม



รูปที่ 7 แผนที่เทศบาลนครอุดรธานี เส้นทางที่ 1 ตำแหน่งใหม่

จากรูปที่ 6 เมื่อทำการเก็บข้อมูลตำแหน่งโดยใช้โปรแกรม GPS TrackMaker ตามเส้นทางที่ 1 เมื่อยังไม่มีการปรับแก้ค่าตำแหน่งจะเห็นได้ว่าการวิ่งออกนอกเส้นทางเป็นระยะ เนื่องจากค่าที่ได้จากเครื่องรับ GM-80 มีความผิดพลาดสูง หลังจากสร้างแบบจำลองโดยใช้ตัวกรองสัญญาณแบบคาลมานทำให้ได้ค่าตำแหน่งใหม่ จากนั้นทำการปรับแก้ค่าในโปรแกรม GPS TrackMaker ทำให้ได้ค่าตามรูปที่ 7 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ถูกต้อง

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถทำนายค่าความผิดพลาดของตำแหน่งในอนาคตได้โดยใช้ตัวกรองสัญญาณแบบคาลมาน เมื่อทราบค่า ณ ตำแหน่งปัจจุบัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากให้ค่าความผิดพลาดน้อยกว่า 0.5 เมตร ทำให้ในการใช้งานจริงทำให้ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องสำรวจเส้นทางเดิมซ้ำๆ จนกว่าจะได้ค่าตำแหน่งที่ถูกต้องในแผนที่ ซึ่งเครื่องรับ GPS ที่มีราคาถูกสามารถให้ค่าตำแหน่งที่ถูกต้องได้เมื่อทำการปรับแก้ด้วยวิธีตัวกรองคาลมานที่ได้นำเสนอข้างต้น

เอกสารอ้างอิง

หนังสือภาษาไทย

- [1] กัลป์รัฐ คล้ายดวง.2542.การลดความผิดพลาดทางตำแหน่งของผู้ใช้จีพีเอสโดยวิธีการปรับแก้ค่าตำแหน่งดาวเทียม.

วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย , สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , กรุงเทพฯ.

- [2] ประภากร ลาภประสพ .2544. ระบบนำร่องรถยนต์ชาญฉลาด. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย , สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , กรุงเทพฯ.
- [3] ทวีศักดิ์ พุทธวรรณไชย .2536 .การแสดงตำแหน่งยานพาหนะแผนที่ชนิดทันทีทันใดโดยใช้ GPS . วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมสำรวจ, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

English Journal

- [4] K.Mohammadi and M.H.Refan.2002. A New Method of Improvement of Time Accuracy on Low Cost GPS Receiver with Using Kalman Filter.International Journal of Engineering Science Iran University of Science and Technology ,Vol.13, No.1 ,2002,pp11-24.

English Conference Proceedings

- [5] M.H.Refan and K.Mohammadi.2002. Point Average of the Position Components, before and after S/A is Turned off,GPS Conference 2002. India.
- [6] M.R.Mosavi, K.Mohammadi and M.H.Refan. 2002. Time Varying ARMA Processing on Low Cost GPS Receiver Data to Improve the Position Accuracy.The Asian GPS Conference 2002, India,pp.125-128.
- [7] Sien-Chong Wu and William G.Melbourne.1993. An Optimal GPS Data Processing Technique for Precise Positioning. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.Vol.31,No.1,Jan.1993,pp.146-152.

English Text Books

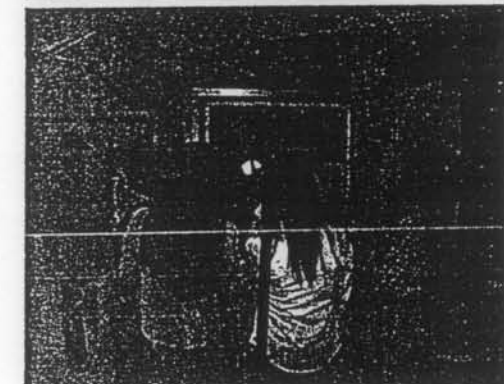
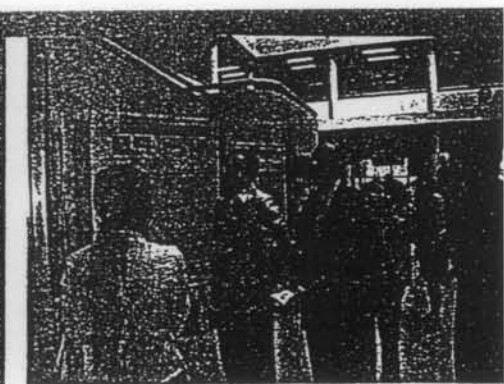
- [8] Robert Grover Brown and Patrick Y.C.Hwang.1996. Introduction to Random Signal and Applied Kalman Filter 3th ,John Wiley & Sons,New York.
- [9] Yi Bian.1995.GPS Signal Selective Availability Modeling and Simulation for FAA WAAS IV&V,ION GPS-95 September 1995,pp.761-769.



การประชุมทางวิชาการ

เสนอผลงานวิทยานิพนธ์ ครั้งที่ 8

วันศุกร์ที่ 20 มกราคม 2549



The 8th Symposium on Graduate Research, KKU

GRADUATE SCHOOL
KHON KAEN UNIVERSITY
ISBN 974-9813-43-X

การลดความผิดพลาดของเครื่องรับ GPS ราคาต่ำสำหรับระบบแสดงเส้นทางยานพาหนะ

Error Reduction of a Low Cost GPS Receiver for Vehicle Tracking System

จุไรรัตน์จินดา อรรคนิตย์ (Churairatchinda Akkanit) *

ดร.ชัยภัฏ วรรณะสาร (Dr.Chaipat Wattanasan) **

มงคล ลีประกอบบุญ (Mongkon Leeprakopbun) ***

สถาพร อุคมสิน (Sathaporn Udomsin) ***

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการปรับแก้ค่าตำแหน่งของเครื่องรับ GPS ราคาต่ำให้ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น โดยใช้วิธีการของตัวกรองคาลมานแบบเปลี่ยนตามเวลา ทำนายค่าในอนาคตโดยใช้ค่าความผิดพลาดในอดีต ในการทดลองนี้จะใช้อุปกรณ์เครื่องรับ GPS ของบริษัท Holux (GPS – GM80) ซึ่งเป็น GPS ราคาต่ำ เปรียบเทียบกับ GPS ของบริษัท Garmin (GPS-12) ซึ่งเป็น GPS ระดับกลาง และใช้โปรแกรม GPS Trackmaker สืบหาเส้นทางจากตำแหน่งเริ่มต้นจนถึงตำแหน่งสุดท้ายจำนวน 1,000 จุด จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำมาปรับแก้ค่าโดยเขียนโปรแกรมจำลองการทำงานของความคิดพลาดที่เกิดขึ้น ผลการทดลองเมื่อใช้แบบจำลองในการทำนายค่าของตำแหน่งที่เกิดขึ้นใหม่ทำให้สามารถลดความผิดพลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Abstract

This paper presents a digital filtering technique for improving the position accuracy of a low cost GPS receiver. The future error inherent to a low cost GPS is estimated using past error measurement. A time varying Kalman filter is used as a means to correct error, thereby improving accuracy of the GPS module. Two modules of GPS receivers, a low cost GPS from Holux company (GPS – GM80) and modest cost of Garmin company (GPS-12), were tested to compare the position error. A GPS Trackmaker Program was used to display the position data collected from routes while 1,000 coordinates from the start to the end were recorded. The error of GPS receiver was predicted by a state-space model in which the past data was used to improve the accuracy. The results show that the position error was reduced to an acceptable extent and the technique is thus proven satisfactory.

คำสำคัญ : จีพีเอส ตัวกรองคาลมาน

Key words : GPS, Kalman Filter

*มหบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

***รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

ปัจจุบันมีผู้นิยมใช้เครื่องรับ GPS (Global Positioning System) ซึ่งพัฒนาโดยกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกา เป็นจำนวนมากเนื่องจากสามารถแสดงพิกัดตำแหน่งเป็นค่าละติจูด ลองจิจูด เวลา และความเร็ว ซึ่งสะดวกกับผู้ใช้งาน แต่เนื่องจากเครื่องรับ GPS นั้นยังมีราคาแพงและถูกจำกัดการใช้งานโดยหน่วยงานราชการ ทำให้ข้อมูลที่ได้มีความผิดพลาดหรือคลาดเคลื่อน (ประภากร, 2544) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ทำให้เกิดความผิดพลาดเกิดขึ้น เช่น สภาพของชั้นบรรยากาศ ความผิดพลาดของเวลา ความผิดพลาดของตำแหน่งการโคจรของดาวเทียม สัญญาณรบกวนซึ่งเกิดจากตัวเครื่องรับ GPS และชนิดของเครื่องรับ GPS (กัลปรัฐ, 2542)

ระบบดาวเทียม GPS จะใช้ดาวเทียมโคจรอยู่ในระดับความสูงจากพื้นโลกซึ่งพ้นจากคลื่นวิทยุรบกวน โดยใช้ดาวเทียมจำนวน 24 ดวงใน 6 วงโคจร สัญญาณจะถูกส่งจากดาวเทียม GPS แต่ละดวงไปสู่เครื่องรับ GPS โดยที่สัญญาณจะมีความถี่นำคลื่น 2 ความถี่ คือ สัญญาณ L1 ใช้ความถี่ 1,575.42 MHz และสัญญาณ L2 ใช้ความถี่ 1,227.60 MHz วิธีการวัดระยะของดาวเทียม GPS สามารถคำนวณจากระยะทางของรูปสามเหลี่ยมระหว่างดาวเทียมแต่ละดวงกับเครื่องรับสัญญาณ ซึ่งจะต้องรับสัญญาณดาวเทียมได้อย่างน้อย 3 ดวง จึงจะได้ข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด (ทวีศักดิ์, 2536) สำหรับบทความนี้จะนำเครื่องรับสัญญาณ GPS ราคาต่ำและมีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งมาปรับแก้ค่าตำแหน่งให้มีความผิดพลาดลดลงและนำมาใช้ในการบอกตำแหน่งของยานพาหนะด้วยโปรแกรม GPS Trackmaker

สาเหตุที่ทำให้เครื่องรับสัญญาณ GPS อ่านค่าผิดพลาดดังกล่าวข้างต้น จะทำให้ข้อมูลเชิงตำแหน่งผิดพลาดมากพอสมควร ซึ่งในส่วนของผู้ใช้งานจำเป็นต้องลดค่าความผิดพลาด โดยมีหลายวิธีที่นำมาใช้ แต่วิธีการที่นิยมใช้ คือ การปรับค่าผลต่างของ GPS 2 ตัวแบบเวลาจริง (Real - time

differential GPS) ซึ่งอาศัยการทำนายค่าความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นในอนาคต บทความนี้จะอธิบายการทำนายค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยใช้วิธีของตัวกรองสัญญาณแบบกาลมานซึ่งมีข้อดีคือ ใช้เครื่องรับ GPS เพียงตัวเดียว

แบบจำลองของตัวกรองสัญญาณแบบกาลมาน

ตัวกรองกาลมาน (Kalman filter) เป็นสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาคำนวณสถานะ ด้วยการคำนวณซ้ำ (recursive) หรือนำค่าเดิมมาคำนวณหาค่าใหม่ ดังนั้นจึงมีเฉพาะค่าเดิมที่จะนำมาใช้ในการประมาณค่าตัวกรองกาลมานเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ หลักการของตัวกรองกาลมานมี 2 ขั้นตอน คือ ขั้นที่ 1 การทำนายหรือการปรับแก้ค่าเวลาและค่าที่เกิดขึ้นก่อน x_k ขั้นตอนที่ 2 คือ ใช้สมการเครื่องมือวัด Z_k เพื่อประมาณค่าที่เกิดขึ้นที่หลัง x_{k+1} สมการพื้นฐานของตัวกรองกาลมาน มีสมการดังนี้

แบบจำลองเวลาดิสครีต (Discrete- time model)

แบบจำลองเวลาดิสครีต ของตัวกรองกาลมานถูกกำหนดด้วยสมการ สเตท ของกระบวนการ ดังนี้ (Mohammadi and Refan ,2002)

$$\begin{aligned} X_{k+1} &= \phi_k X_k + W_k \\ Y_k &= B_k X_k \end{aligned} \quad (1)$$

โดยที่ X_k คือ สเตทเวกเตอร์ของกระบวนการที่เวลา t_k ϕ_k คือ เมตริกซ์ระหว่าง X_k และ X_{k+1} ของสเตททรานซิชัน W_k คือ ไวท์นอยส์เวกเตอร์ B_k คือ เมตริกซ์ความสัมพันธ์ของ Y_k และสเตท X_k สมการเครื่องมือวัด คือ

$$Z_k = H_k X_k + V_k \quad (2)$$

โดยที่ Z_k คือ เมตริกซ์ของค่าทำนาย ขนาด $M \times M$

H_k คือ เมตริกซ์ของการวัด ขนาด $M \times N$

V_k คือ เวกเตอร์สัญญาณรบกวนของการวัด ขนาด $M \times 1$

แบบจำลองความผิดพลาดของความเฉื่อยสำหรับระบบนำทาง

ความเฉื่อยของระบบนำทางหรือเรียกย่อๆว่า INS (Inertial Navigation System) เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เครื่องรับ GPS สามารถรับสัญญาณได้เร็วหรือช้าในพื้นที่ต่างๆ กัน ดังนั้นเครื่องรับสัญญาณ GPS ที่มีราคาแพงจะมีความเฉื่อยน้อย ทำให้สามารถรับสัญญาณได้ดีและเร็ว

ส่วนประกอบพื้นฐานของ INS ประกอบด้วยตัวตรวจวัด 2 ตัว คือ ไจโรสโคป (gyroscope) และ เครื่องวัดความเร่ง (accelerometer) ไจโรสโคปจะทำหน้าที่วัดอัตราการหมุนหรือความเร็วเชิงมุม ซึ่งสามารถใช้สมการคณิตศาสตร์อินทิเกรตเทียบกับเวลาจะได้เป็นค่าความสูงของดาวเทียมเทียบกับพื้นโลก ในส่วนของเครื่องวัดความเร่งจะทำการวัดความเร่งซึ่งเราสามารถเปลี่ยนเป็นค่าความเร็วได้โดยใช้การอินทิเกรตเทียบกับเวลา หรือทำการอินทิเกรตครั้งที่สองเพื่อเปลี่ยนเป็นค่าของตำแหน่งได้ (Brown and Hwang, 1993)

สามารถเขียนสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่งเป็นสมการกระบวนการของแบบจำลองระบบได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \\ \dot{x}_6 \\ \dot{x}_7 \\ \dot{x}_8 \\ \dot{x}_9 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -g & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{R_e} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \omega_e \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -g & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{R_e} & 0 & 0 & 0 & \omega_e \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}}_{F_{INS}} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \\ x_9 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ u_{ax} \\ u_{gx} \\ 0 \\ u_{ay} \\ u_{gy} \\ 0 \\ u_{az} \\ u_{gz} \end{bmatrix} \quad (3)$$

โดยที่

x_1 คือ ค่าความผิดพลาดของตำแหน่งในทิศตะวันออก (m)

x_2 คือ ค่าความผิดพลาดของความเร็วในทิศตะวันออก (m/sec)

x_3 คือค่ามุมยกในแนวแกน y (rad)

x_4 คือค่าความผิดพลาดของตำแหน่งในทิศเหนือ (m)

x_5 คือค่าความผิดพลาดของความเร็วในทิศเหนือ (m/sec)

x_6 คือค่ามุมยกในแนวแกน -x (rad)

x_7 คือค่าความผิดพลาดของตำแหน่งในแนวตั้ง (m)

x_8 คือค่าความผิดพลาดของความเร็วในแนวตั้ง (m/sec)

x_9 คือค่าความผิดพลาดของมุม azimuth (rad)

แบบจำลองเวลาของเครื่องรับสัญญาณ GPS

แบบจำลองเวลามีตัวแปรสเกลที่เกี่ยวข้อง 2 ตัวแปรคือเฟสและค่าผิดพลาดเชิงความถี่ในเครื่องรับสัญญาณ GPS โดยใช้พื้นฐานในการประมาณค่าของเครื่องรับ GPS (Sien-Chong and Melbourne, 1993) โดยแบบจำลองนี้จะพิจารณาทั้งความถี่และเฟสที่เกิดขึ้นในขณะที่มีการเดินสำรวจในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ดังแสดงในสมการช่วงเวลาต่อไปนี้

$$X_{ck+1} = \phi_{ck} X_{ck} + W_{ck} \quad (4)$$

$$\text{โดยที่ } X_{ck+1} = \begin{bmatrix} dt \\ dt^0 \end{bmatrix}, \phi_{ck} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q_{ck+1} = E[w_c w_c^T] = \begin{bmatrix} S_{dt} \Delta t + S_{dt} \frac{\Delta t^3}{3} & S_{dt} \frac{\Delta t^2}{2} \\ S_{dt} \frac{\Delta t^2}{2} & S_{dt} \Delta t \end{bmatrix} \quad (5)$$

S_{dt} และ S_{dt} คือขนาดของสเปกตรัมของไวท์นอยส์ ซึ่งสามารถหาค่าได้จากความสัมพันธ์ของตัวแปรของ Allan variance

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

โปรแกรมจำลองการทำงานของ GPS และตัวกรองคาลมาน

สำหรับบทความนี้จะใช้ตัวกรองคาลมาน ในการปรับแก้ค่าตำแหน่งใหม่ของเครื่องรับ GPS เนื่องจากสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมเป็นสัญญาณแบบสัญญาณรบกวนเทียม (Pseudonoise) ซึ่งตัวกรองคาลมานเป็นตัวกรองที่สามารถประมาณค่าความผิดพลาดแบบกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุด (Least-Square Error) ได้ดีสำหรับสัญญาณที่ส่งเป็นลักษณะแบบสัญญาณรบกวนเทียม

การทำงานของแบบจำลองทางเวลาและแบบจำลองความเฉื่อย INS จะถูกทดสอบโดยใช้โปรแกรม Matlab ทำการจำลองระบบทั้งสอง สำหรับตัวกรองสัญญาณแบบคาลมานใช้ในการแก้ปัญหาสมการสเตต 9 ตัวแปรโดยพิจารณาในกรณีที่มีความเร่ง ส่วนแบบจำลองของเวลาใช้วิธีการของ Allan variance ในการแก้ปัญหาและเลือกใช้ค่า initial error variances ดังนี้

$$P = \begin{bmatrix} 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 10^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6.4 \times 10^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6.4 \times 10^{-3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10^6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6.4 \times 10^{-3} \end{bmatrix} \quad (6)$$

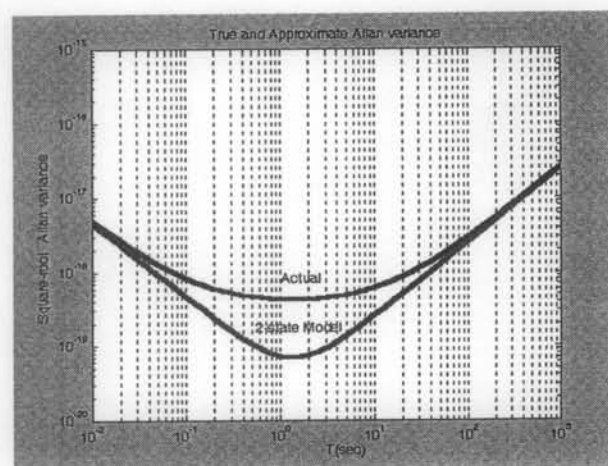
พิจารณาเงื่อนไขการเคลื่อนที่เป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 60 km/hr เป็นเวลา 15 นาทีและเมื่อความเร็วเปลี่ยนแปลงเป็น 100 km/hr เป็นเวลา 15 นาทีโดยค่าของเมตริกซ์ Cosine direction : H เปลี่ยนแปลงตามความเร็วและเวลา

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง ทำการเก็บข้อมูลตำแหน่ง 1,000 ตำแหน่งโดยใช้เครื่องรับ GPS GM-80 ของบริษัท Holux ซึ่งเป็นเครื่องรับ GPS ราคาต่ำ ราคาประมาณ 4,000 บาท และเครื่องรับ GPS-12 ของ

บริษัท GARMIN ที่มีราคาในระดับกลาง ราคาประมาณ 20,000 บาท ทำการเก็บข้อมูลในเขตเทศบาลนครอุดรธานี จำนวน 1 เส้นทาง หลังจากทราบค่าตำแหน่ง X_i, Y_i และ Z_i คำนวณค่าความผิดพลาดของตำแหน่งโดยแทนค่าที่ได้จากการวัดลงในแบบจำลองสำหรับทุกค่าของการวัดทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยพิจารณาจากค่าความผิดพลาดของแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจริง

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

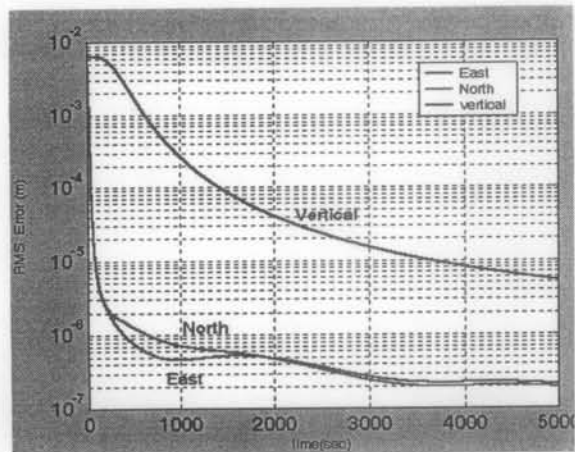
ผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม Matlab สำหรับแบบจำลองทางเวลา ทำการวาดกราฟระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากการประมาณค่าจะได้กราฟลักษณะดังภาพที่ 1 จะเห็นว่าค่าจริงและค่าของ 2-State model มีความผิดพลาดของเวลาโดยในเวลา 1 วินาทีค่าความผิดพลาดของเวลาจริงมีค่า 0.6×10^{-18} ส่วน 2-state model มีความผิดพลาด 0.7×10^{-19} ซึ่งค่าของ 2-state model มีค่าน้อยกว่า



ภาพที่ 1 กราฟการเปรียบเทียบค่าจริงและแบบจำลอง

ทำการสร้างแบบจำลองสมการสเตต 9 ตัวแปร จากนั้นใช้ตัวกรองคาลมานในการแก้ปัญหาโดยทำการ

จำลองสัญญาณโดยใช้โปรแกรม Matlab ได้ผลการทดลอง ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เมื่อใช้ตัวกรองสัญญาณแบบคาลมาน

จากภาพที่ 2 เมื่อใช้ตัวกรองคาลมานระบบจะเข้าสู่เสถียรภาพได้เร็วกว่าเมื่อไม่มีตัวกรองคาลมาน โดยความผิดพลาดขณะคงตัวของความสูง น้อยกว่าความผิดพลาดขณะคงตัวในแนวตะวันออกและแนวทิศเหนือ

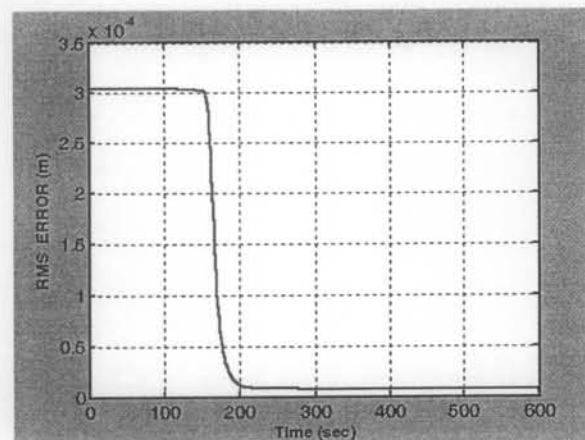
ตารางที่ 1 ค่าความผิดพลาดในแนวแกน X แกน Y และ แกน Z

Error Characteristic	ตำแหน่ง แกน X	ตำแหน่ง แกน Y	ตำแหน่ง แกน Z
Average(m)	0.001225	0.001257	0.01623
Variance(m ²)	0.006788	0.0006891	0.006348
Standard Deviation(m)	0.005236	0.005161	0.02128

เมื่อทำการทดลองเก็บข้อมูลจำนวน 1,000 จุดทำการคำนวณหาค่า Average, Variance และ Standard Deviation ดังตารางที่ 1 โดยจากการทดลองจะเห็นว่าค่า Standard Deviation Error น้อยกว่า 0.02 เมตร ทั้ง 3 แกน

ทำการสร้างแบบจำลองเมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 60 km/hr เป็นเวลา 15 นาที และเมื่อความเร็ว

เปลี่ยนแปลงเป็น 100 km/hr เป็นเวลา 15 นาที และเขียนกราฟค่าความผิดพลาดของตำแหน่งที่เกิดขึ้นในแนวตะวันออก



ภาพที่ 3 ความผิดพลาดของตำแหน่งในแนวตะวันออก

ตารางที่ 2 ผลต่างของ GPS-GM80 กับ ค่าที่ปรับแก้ด้วยตัวกรองคาลมาน

ตำแหน่ง	ผลต่างระหว่าง GPS GM-80 กับ ค่าที่ประมาณจากแบบจำลอง (เมตร)	
	X	Y
สามแยก ช.จินตคาม	0.35901	0.54821
หน้า ม.ราชภัฏอุดรธานี	0.42471	0.63512
ห้าแยกน้ำพุ	0.59459	0.42879
เจริญศรีพลาซ	0.5112	0.54681
สถานีดับเพลิง	0.3772	0.45261
ไค้บ้านโนน	0.5419	0.65842
หน้าโรงพยาบาลวัฒนา	0.5482	0.36594
พระตำหนักหนองประจักษ์	0.6987	0.59681
สำนักงานประปา	0.46312	0.46852
โรงพยาบาลอุดรธานี	0.5986	0.67894
รร. สตรีราชินุทิศ	0.3981	0.53694
ค่าเฉลี่ย	0.501394	0.537919

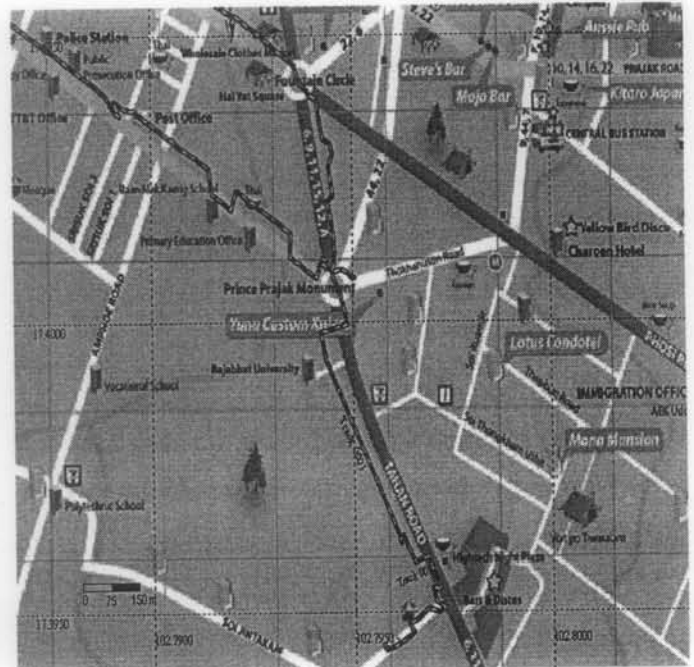
ตารางที่ 3 ผลต่างของ GPS12 กับ ค่าที่ปรับแก้ด้วย
ตัวกรอง คาลมาน

ตำแหน่ง	ผลต่างระหว่าง GPS12 กับค่าที่ประมาณจาก แบบจำลอง(เมตร)	
	X	Y
สามแยก ช.จินตคาม	0.15901	0.19763
หน้า ม.ราชภัฏอุดรธานี	0.14471	0.19824
ห้าแยกน้ำพุ	0.19469	0.19847
เจริญศรีพาเลข	0.5002	0.10007
สถานีดับเพลิง	0.1787	0.10045
โค้งบ้านโนน	0.10719	0.10007
หน้าโรงพยาบาลวัฒนา	0.11791	0.1003
พระตำหนักหนองประจักษ์	0.10719	0.19976
สำนักงานประปา	0.17861	0.19961
โรงพยาบาลอุดรธานี	0.13573	0.10015
รร. ศรีราชินูทิศ	0.15002	0.10003
ค่าเฉลี่ย	0.179451	0.14498
Standard Deviation(m)	0.195973	0.215671

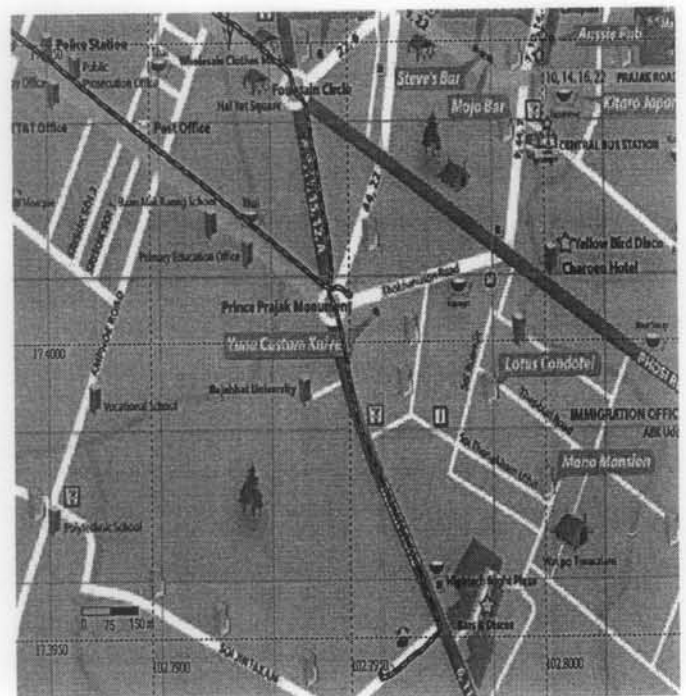
จากตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของผลต่างของ
ตำแหน่งสำหรับ GM-80 ในแนวละติจูด มี ค่า 0.501394
เมตร แนวลองจิจูดมีค่า 0.537919 เมตร

จากตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของผลต่างของ
ตำแหน่งสำหรับ GPS-12 ในแนวละติจูด มี ค่า 0.179451
เมตร แนวลองจิจูดมีค่า 0.14498 เมตร

โดยมีค่า Standard Deviation ในแนว $x = 0.195973$
เมตร และ Standard Deviation ในแนว $y = 0.215671$



ภาพที่ 4 แผนที่เทศบาลนครอุดรธานี เส้นทางที่ 1 ตำแหน่งเดิม



ภาพที่ 5 แผนที่เทศบาลนครอุดรธานีเส้นทางที่ 1 เมื่อทำการปรับแก้ค่า

จากภาพที่ 4 เมื่อทำการเก็บข้อมูลตำแหน่งโดยใช้โปรแกรม GPS TrackMaker ตามเส้นทางที่ 1 เมื่อยังไม่มีการปรับแก้ค่าตำแหน่งจะเห็นได้ว่าการวิ่งออกนอกเส้นทางเป็นระยะ เนื่องจากค่าที่ได้จากเครื่องรับ GPS GM-80 มีความผิดพลาดมากกว่า 100 เมตร เมื่อทำการสร้างแบบจำลองโดยใช้ตัวกรองสัญญาณแบบคาลมานทำให้ได้ค่าตำแหน่งใหม่ที่มีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.5 เมตร จากนั้นทำการปรับแก้ค่าในโปรแกรม GPS TrackMaker ทำให้ได้ค่าตำแหน่งใหม่ตามภาพที่ 5 ซึ่งเป็นเส้นทางที่ยานพาหนะอยู่บนตำแหน่งถนนที่ถูกตัด จากการศึกษามีการเสนอวิธีการปรับแก้ค่าของเครื่องรับ GPS โดยใช้วิธีการปรับแก้ค่าตำแหน่งการโคจรของดาวเทียม GPS โดยใช้เครื่องรับ GPS ระดับกลางซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ข้อมูลจำนวนมากในการวิเคราะห์ผล และให้ค่าความผิดพลาดประมาณ 15 เมตร ซึ่งมากกว่าวิธีที่นำเสนอดังกล่าว

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถทำนายค่าความผิดพลาดของตำแหน่งในอนาคตได้โดยใช้ตัวกรองสัญญาณแบบคาลมาน เมื่อทราบค่า ณ ตำแหน่งปัจจุบันก่อน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากให้ค่าความผิดพลาดประมาณ 0.5 เมตร ทำให้ในการใช้งานจริงทำให้ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องสำรวจเส้นทางเดิมซ้ำๆ จนกว่าจะได้ค่าตำแหน่งที่ต้องการในแผนที่ ซึ่งเครื่องรับ GPS ที่มีราคาถูกสามารถให้ค่าตำแหน่งที่ต้องการได้เมื่อทำการปรับแก้ด้วยวิธีตัวกรองคาลมานที่ได้นำเสนอข้างต้น

เอกสารอ้างอิง

- กัลป์รัฐ คล้ายดวง.2542. การลดความผิดพลาดทางตำแหน่งของผู้ใช้จีพีเอสโดยวิธีการปรับแก้ค่าตำแหน่งดาวเทียม.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง .
- ประภากร ลาภประสพ. 2544. ระบบนำร่องรถยนต์ชาญฉลาด .วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ทวีศักดิ์ พุทธวรรณไชย. 2536. การแสดงตำแหน่งยานพาหนะแผนที่ชนิดทันทีทันใดโดยใช้ GPS.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมสำรวจ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Mohammadi and Refan.2002. A New Method of Improvement of Time Accuracy on Low Cost GPS Receiver with Using Kalman Filter. International Journal of Engineering Science Iran University of Science and Technology ,Vol.13, No.1 ,2002, pp11-24.
- Sien-Chong Wu and William G.Melbourne.1993. An Optimal GPS Data Processing Technique for Precise Positioning. IEEE Transactions on Geoscience and RemoteSensing.Vol.31,No.1, Jan.1993,pp.146-152.
- Brown R.G. and P.Y.C.Hwang .1993. Introduction to Random signals and applied kalman filter. 3th ed. Wiley ,New York ,427pp.