

결정 궤환 방법을 이용한 무선측위

준회원 김 유 신*, 정회원 유 흥 렬**, 이재진*

Radio Location using Decision Feedback Method

Yushin Kim* Associate Member

Heung-Ryeol You**, Jaejin Lee* Regular Members

요 약

본 논문에서는 전파의 도달시간을 이용한 이동통신 측위 시스템에서 사용되는 직접해, 최소 자승, 테일러 시리즈 그리고 찬 알고리즘의 성능을 분석하고, 각 알고리즘을 사용하여 계산된 결과를 궤환시켜 이동국의 위치를 재계산함으로써 보다 향상된 측위를 할 수 있는 결정 궤환 방법을 제안한다. 제안된 방법은 규칙 7셀 좌표와 불규칙 셀 좌표를 이용하여 이동국을 위치시킨 후, 전파의 지연시간에 따른 측위오차와 표준편차 그리고 각 알고리즘별 발산횟수를 조사하였으며, 실험결과 결정 궤환 방법을 사용하였을 경우 기존의 방법보다 향상된 성능을 보였다.

ABSTRACT

In this paper, time-based position location algorithms such as Direct Solution, Iterative Least Square, Taylor Series and Chan's algorithm are analyzed, and an algorithm using decision feedback method is proposed to mitigate the estimation error of mobile station. The proposed method reestimates the location of the mobile station by reusing a calculated result. The performance of the proposed method is analyzed and compared with the method without decision feedback through position location error, standard deviation and the number of divergence according to a time delay profile. Simulation results show that the proposed method is superior to that of not using decision feedback.

I. 서 론

무선통신 시스템에서 이동국의 위치를 추정하는 시스템은 최근 많은 관심을 보이고 있으며, 그 응용범위도 계속 확대되고 있는 추세이다. 미국의 FCC (Federal Communication Commission)는 미국 내 모든 이동통신서비스 사업자로 하여금 2001년 10월 1일 이후 이동통신 가입자가 응급구조 911(E911)로 전화를 하였을 경우 Phase II의 요구조건을 만족하는 측위 서비스를 제공하여야한다^[1]는 규정을 정하였다. 기존의 이동국 위치 추정방법으로는 GPS (Global Positioning System), Signpost Navigation, 그리고 이동통신망을 이용한 방법 등이 있으나 측위를 하기 위한 단말기의 가격과 크기 그리고 정확

도 등을 고려하여 현재는 이동통신망을 이용한 방법이 활발하게 진행되고 있다.

측위 파라미터에 따른 측위 방법으로는 신호의 세기를 이용하거나, 전파의 도래각을 이용한 AOA (Angle of Arrival), 전파의 도달시간을 이용한 TOA(Time of Arrival)와 TDOA(Time Difference of Arrival) 방법 그리고 AOA와 TOA 또는 AOA와 TDOA를 결합한 Hybrid 방법으로 분류할 수 있으며, 비용과 측위의 용이성의 이유로 현재는 TOA와 TDOA에 관한 방법이 진행되고 있다^[2]. TOA의 경우 주로 최소 자승 방식(LS)이나, GDOP Geometric Dilution of Precision)에 의한 LS 방식의 수렴성을 해결하기 위한 직접해(DS) 방식을 주로 사용한다. TDOA에서 사용되는 알고리즘^{[3][4][5]}은 다양하

* 동국대학교 전자공학과 통신및정보저장 연구실(yushins@hanmail.net), ** 한국통신 가입자망연구소
논문번호 : 000004-1024, 접수일자 : 2000년 10월 24일

게 제안되었으며, 그 중에서 Chan^[5]이 제안한 방법이 지상에 설치된 CDMA 이동통신망을 이용하는 TDOA 방식의 위치 결정에 있어서 최적의 성능을 보여주고 있다.

본 논문의 구성은 II장에서 실험에 사용된 알고리즘을 기술하고, III장에서는 제안방법 및 실험방법을 그리고 IV장에서 규칙 7셀 좌표와 불규칙 셀 좌표에서의 실험 및 고찰을 보이고, V장에서 결론을 맺었다.

II. 전파의 도달시간을 이용한 알고리즘

1. 직접해 방법 (Direct Solution Method)

MS와 BS사이의 기하학적인 배열에 따른 위치 부정확성의 척도인 DOP(Dilution of Precision)가 좋지 않을 경우 LS 방식이 수렴에 있어서 문제가 발생하는 경우가 있는데 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로, 측정된 시간 지연만을 이용하여 해석적으로 위치의 해를 구하는 한 방법으로 의사거리 측정식은 다음과 같다.

$$r_i = [(s_{i1} - x)^2 + (s_{i2} - y)^2]^{1/2} + \tau \quad (1)$$

여기서 i 는 1,2,3,...,n:n은 BS의 개수, r_i : i 번째 BS와 MS사이의 의사거리, s_{i1}, s_{i2} : i 번째 BS의 위치 좌표, x, y :알고자하는 MS 위치, τ :거리로 환산된 clock bias. 수식 (1)의 양변에 제곱을 취하고 이를 정리하면 다음과 같다.

$$-2s_{i1}x - 2s_{i2}y = r_{si}^2 - r_{si}^2 - x^2 \quad (2)$$

$$\text{여기서, } r_{si}^2 = s_{i1}^2 + s_{i2}^2 \quad (3)$$

$$x^2 = x^2 + y^2 - \tau^2 \quad (4)$$

이고, 수식 (2)는 다음과 같이 매트릭스 형태로 다시 쓸 수 있다.

$$HX = R_a + \chi R_b \quad (5)$$

$$\text{여기서 } H = \begin{bmatrix} -2s_{11} & -2s_{12} & 2r_1 \\ -2s_{21} & -2s_{22} & 2r_2 \\ -2s_{31} & -2s_{32} & 2r_3 \end{bmatrix},$$

$$R_a = \begin{bmatrix} r_1^2 - r_{s1}^2 \\ r_2^2 - r_{s2}^2 \\ r_3^2 - r_{s3}^2 \end{bmatrix}, R_b = \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix}, X^T = [x \ y \ \tau] \text{이다.}$$

수식 (5)에서 매트릭스 H 가 정방행렬의 매트릭스가 아닐 경우 계산상의 Singular error 방지를 위해 수식(6)처럼 의사 역 매트릭스(Pseudo inverse matrix)를 정의하여 사용한다.

$$H^+ = (H^T H)^{-1} H^T \quad (6)$$

그러면, 수식 (5)는 수식 (7)로 나타낼 수 있다.

$$X = H^+ R_a + \chi H^+ R_b \quad (7)$$

수식 (4)에서 미지수 χ 때문에 수식 (7)에서 직접 X 를 계산할 수 없기 때문에 다음 순서에 따라 미지수 χ 를 우선 계산하여야한다.

첫째: $p = H^+ R_a, q = H^+ R_b$ 라고 정의하면 식 (7)는 다음처럼 쓸 수 있다.

$$X = p + \chi q \quad (8)$$

둘째: 수식 (8)의 X 를 사용하여 수식 (4)의 χ 를 계산하면

$$(p_1 + \chi q_1)^2 + (p_2 + \chi q_2)^2 - (p_3 + \chi q_3)^2 = \chi \quad (9)$$

이고, 수식 (9)는 χ 에 관한 이차방정식으로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$a\chi^2 + b\chi + c = 0 \quad (10)$$

여기서 $a = q_1^2 + q_2^2 - q_3^2, b = 2p_1q_1 + 2p_2q_2 - 2p_3q_3 - 1, c = p_1^2 + p_2^2 - p_3^2$ 이다.

수식 (10)에서 χ 에 대한 해를 구하여 수식 (8)에 대입, X 를 구한 후 마지막으로 수식 (2)에 대입하여 MS의 위치좌표 x, y 를 구할 수 있다. DS 방법은 수식 (10)의 해가 실수가 아닐 경우 측위의 해를 제공하지 못하며, 또한 DS의 해는 수식 (6)에 사용된 의사 역 매트릭스의 해에 의존하지만 여기서 사용된 의사 역 매트릭스는 최적의 해를 제공하지 못하기 때문에 추정된 해가 정확치 않은 단점이 있다.

2.2 최소 자승법 (Least Square Method)

LS 방법은 측정거리에 포함된 오차를 고려하지 않고 오차의 공분산을 최소화하는 해를 찾는 방법으로 측정 에러의 평균이 '0'이고 분산이 '1'인 가우시안 분포를 갖는다면 최대 근사(Maximum Likelihood) 추정이 가능하며, 분산이 '1'이 아닌 경

우에는 측정된 거리에 가중치를 두는 가중치를 제공하는 최소 자승법(Weighted least square) 방법을 사용하여 최대 근사 추정을 한다. i -번째 기지국에 대한 거리를 나타내는 수식 (1)을 오차를 포함한 측정식으로 나타내면 수식 (11)과 같이 표현할 수 있다.

$$R = f(S_1, S_2, X) + v \quad (11)$$

여기서 $R = [r_1, r_2, r_3]$: 각 BS에 대해 측정된 거리, $f(S_1, S_2, X) = [(s_{1i} - x)^2 + (s_{2i} - y)^2]^{1/2} + \tau$

$S_i = [s_{1i}, s_{2i}]^T$: i 번째 BS의 위치좌표, $X = [x, y, \tau]^T$: MS의 위치좌표, τ : 거리로 환산된 clock bias, v : 측정된 노이즈이다.

수식 (11)을 임의의 R^* (초기치를 사용하여 측정된 거리), X^* (초기값 x_0^*, y_0^*)에 대하여 테일러 시리즈로 전개하면 수식 (12)로 나타낼 수 있으며, 2차 이상을 무시하고 선형화 하면 수식 (13)과 같다.

$$R_i = R_i^* + \left. \frac{\partial R_i}{\partial X} \right|_{X^*} \delta X + \left. \frac{\partial^2 R_i}{\partial X^2} \right|_{X^*} \delta^2 X + v \quad (12)$$

$$\delta R_i = \left. \frac{\partial f(S_1, S_2, S_3, X)}{\partial X} \right|_{X^*} \delta X \quad (13)$$

여기서 측정값과 계산값의 차이 δR 과 δX 는 다음과 같다.

$$\delta R = R - R^* = R - f(S_1, S_2, S_3, X^*) \quad (14)$$

$$\delta X = X - X^* \quad (15)$$

수식 (13)을 매트릭스 형태로 나타내면 수식 (16)으로 쓸 수 있고, 여기서 h_i 는 수식 (17)로 정의할 수 있다.

$$\delta R_i = h_i \delta X \quad (16)$$

$$h_i = \left[\frac{x - x_i}{R_i} \quad \frac{y - y_i}{R_i} \quad 1 \right]_{X^*} \quad (17)$$

그리고, 수식 (16)은 H 매트릭스를 사용 수식 (17)로 나타낼 수 있으며,

$$\delta R = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \end{bmatrix} \delta X = H \delta X \quad (18)$$

위치오차는 다음 수식 (19)를 이용 구하게 된다.

$$\delta X = H^T (H^T H)^{-1} \delta R \quad (19)$$

LS 방법은 최초에 초기값을 주어 반복적으로 위치오차 δX 를 구하여 오차를 보완한 후 보완된 오차가 '0'이 되거나 미리 설정한 임계치 안에 들어오면 그 해를 MS의 위치로 추정하는 방식이다.

2.3 테일러 시리즈 방법 (Taylor Series Method)

BS와 MS 사이의 측정거리를 나타내는 2차원의 비 선형방정식을 테일러 시리즈로 전개하여 선형화한 후, 초기값을 주어 초기의 추정 위치로부터 구한 선형 LS의 해를 반복적으로 구하는 과정에서 측위 오차의 편차를 줄임으로써 이동국의 실제 위치를 구하고자 하는 방법으로 의사거리 측정식을 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$f_i(x, y, x_k, y_k) = [(x_k - x)^2 + (y_k - y)^2]^{1/2} \approx u_i = m_{ki} - e_i \quad (20)$$

여기서 $k = 1, 2, \dots, n$ n : 기지국 수, x_k, y_k : k -번째 기지국의 x, y 좌표, m_{ki} : 기지국 k 에 대한 i -번째 측정, e_i : m_{ki} 측정에서의 지연오차, u_i : i -번째 측정 후 수정된 값이다. 그리고 TDOA를 이용한 측위 시 수식 (20)은 다시 수식 (21)로 나타낼 수 있으며, 이때 $c = 2.998 \times 10^8$ 으로 광속이다.

$$f_i(x, y, x_k, y_k) = c * (d_i - d_j) = u_i - u_j \quad (21)$$

위에서 구한 m_{ki} 와 테일러 함수: f_i , 그리고 기지국의 위치를 사용하여 이동국의 위치 x, y 를 추정할 수 있다. x_v, y_v 를 이동국의 추정위치라고 하면, x, y 는 다음 수식 (22)와 같이 나타낼 수 있고, 테일러 시리즈에서 f_i 를 2차까지만 유도한다면 수식 (23)과 같이 쓸 수 있다.

$$x = x_v + \delta_x, \quad y = y_v + \delta_y \quad (22)$$

$$f_{iv} + a_{i1} \delta_x + a_{i2} \delta_y \approx m_{ki} - e_i \quad (23)$$

여기서 $f_{iv} = f_i(x_v, y_v, x_k, y_k) = [(x_v^* - a_{i1})^2 + (y_v^* - a_{i2})^2]^{1/2} - [(x_v^* - a_{(i+1)1})^2 + (y_v^* - a_{(i+1)2})^2]^{1/2}$ 이고, x_v^*, y_v^* 는 초기값을 나타낸다. 수식 (23)은 매트릭스 형태의 수식 (24)로 표현할 수 있다.

$$A\delta = z - e \tag{24}$$

여기서 $A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \\ a_{31} & a_{32} \end{bmatrix}, \delta = \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \end{bmatrix}, e = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{bmatrix},$

$$z = \begin{bmatrix} m_{k1} - f_{1v} \\ m_{k2} - f_{2v} \\ m_{k3} - f_{3v} \end{bmatrix}$$

이며, 이러한 수식 (24)를 이용 수식 (25)로 나타낼 수 있으며 추정오차의 분산에 따른 합과의 연산에서 최소 합 의 자승(least-sum-squares)에 대한 오차를 일으키는 δ 는 수식 (26)으로 주어진다.

$$e_i = z - a_{i1}\delta_x - a_{i2}\delta_y \tag{25}$$

$$\delta = [A^T R^{-1} A]^{-1} A^T R^{-1} z \tag{26}$$

여기서 위치여러 δ_x, δ_y 가 충분히 '0'에 가깝게 수렴되거나 혹은 주어진 에러 값을 만족하면 이때의 x, y 값이 이동국의 추정위치가 된다. 그리고 테일러 시리즈 방법을 이용하기 위해서는 초기값의 적절한 설정이 필요하며, 초기 위치의 오차는 수백 km가 되어도 몇 회 이내에 수렴하는 특징을 가진다.

2.4 찬 방법 (Chan's method)

이동국의 위치를 추정하기 위한 TDOA의 한 방법으로 LS나 TS 방법처럼 반복적으로 해를 구하지 않고 이동국과 기지국에 대한 2차식에서 기지국의 i 번째 좌표값을 $K_i (K_i = x_i^2 + y_i^2)$ 로 치환하여 해를 구한 후, 여기서 나온 2개의 해 중에서 하나를 이동국의 위치로 추정하는 방법이다. 이동국과 기지국이 동일 평면 위에 위치해 있다는 가정 하에 TDOA 추정을 하면, i 번째 기지국, j 번째 기지국, 그리고 이동국 사이의 위치관계는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r_i^2 &= (x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 \\ &= K_i - 2x_i x - 2y_i y + x^2 + y^2 \end{aligned} \tag{27}$$

여기서 $K_i = x_i^2 + y_i^2$ 이며, i 번째 BS와 j 번째 BS 사이의 거리차는 다음과 같다.

$$r_{i,1} = cd_{i,1} = c(d_i - d_1) = r_i - r_1 \tag{28}$$

위 수식은 i 번째 거리 r_i 에 대하여 수식 (29)으로 쓸 수 있으며, 이를 수식 (27)에 대입하여 r 에 관한 2차식으로 나타내면 수식(30)으로 나타낼 수 있다.

$$r_i^2 = (r_{i,1} + r_1)^2 \tag{29}$$

$$r_{i,1}^2 + 2r_{i,1}r_1 + r_1^2 = K_i - 2x_i x - 2y_i y + x^2 + y^2 \tag{30}$$

여기서, $r_1^2 = K_1 - 2x_1 x - 2y_1 y + x^2 + y^2$ 이고 수식 (30)을 r_i 에 대해 정리하면 수식 (31)과 같다.

$$r_{i,1}^2 + 2r_{i,1}r_1 = -2x_{i,1}x - 2y_{i,1}y + K_i - K_1 \tag{31}$$

세 개의 MS 또는 BS신호가 수신되는 경우 MS 의 해는 다음과 같이 쓸 수 있으며,

$$\begin{aligned} 2 \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{2,1} & y_{2,1} \\ x_{3,1} & y_{3,1} \end{pmatrix} &= -2 \begin{pmatrix} r_{2,1} \\ r_{3,1} \end{pmatrix} r_1 \\ &\quad - \begin{pmatrix} r_{2,1}^2 - K_2 + K_1 \\ r_{3,1}^2 - K_3 + K_1 \end{pmatrix} \end{aligned} \tag{32}$$

여기서 수식 (32)를 다음과 같이 치환한 후,

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = PQR_1 + PR \tag{33}$$

수식 (33)에서 산출된 (x, y) 값을 수식 (27)에 대입 하면 r_1 에 2차 방정식이 주어지고, r_1 의 양의 근을 수식 (33)에 대입함으로써 해를 얻을 수 있다. 경우에 따라 2개의 양의 근이 존재하는 경우 BS가 어느 구역의 안에 있을 것이라는 제한 조건을 이용해 올바른 해를 구할 수 있다. 이동국 또는 기지국 으로부터 수신된 신호가 4개 이상일 경우 3개의 신호를 제외한 나머지 신호를 부가적으로 이용하여 보다 정확한 측위를 할 수 있으며, TDOA 측정 오차가 적을 경우 최대 근사 추정을 하기도 한다. 찬 방법은 기존의 측위 알고리즘 중에서 가장 정확한 측위의 해를 제공하며, 최소 자승 또는 테일러 시리즈 방법처럼 반복적으로 해를 구하지 않기 때문에 이들 방법보다 계산량이 적은 특징이 있다.

III. 제안한 방법 및 실험방법

본 논문에서 제안한 결정 제한(Decision Feed back) 방식은 각 측위 알고리즘을 이용하여 추정된 MS의 좌표값을 다시 사용하는 방법으로, ILS(Iterative Least Square)와 ITS(Iterative Taylor Series) 방법의 경우 임의의 초기값(x^*_0, y^*_0)을 이용하여 추정한 MS의 좌표값(x, y)을 수식 (13)과 수식 (23)의 초기값(x^*_0, y^*_0)으로 다시 삽입하여 MS의 최종위치를 구하였으며, DS와 Chan 방법의 경우 MS와 BS

와의 의사거리를 계산하는 수식 (1)과 수식 (27)에 추정된 MS의 좌표값을 이용하여 의사거리를 재 계산한 후 최종적으로 MS의 위치를 추정하는 방식이다.

실험은 TOA 방식으로 DS, ILS알고리즘을, TDOA 방식으로는 ITS, Chan 알고리즘을 사용하여 각 지연에 따라 1,000번씩 모의 실험을 한 후, 측위 오차와 표준편차 그리고 초기값을 사용하는 ILS와 ITS의 경우 10,000m 이상의 측위오차를 나타내는 발산횟수를 계산하였다. 여기서 사용된 기지국 좌표는 규칙 7셀 좌표(그림 1)와 불규칙 셀 좌표(그림 2)를 사용하였으며, MS는 BS set(BS1, BS2, BS3)의 중점에 있다고 가정하였다. 본 논문은 알고리즘의 수식적인 성능을 보기 위한 것으로 NLOS(Non Line of Sight)를 포함하는 채널 특성이나 MS와 BS사이의 지형학적 오차인 위도와 경도에 의한 오차를 최소화하는 GDOP은 고려하지 않고 BS와 MS 사이의 전파도달 시간만을 고려하였다.

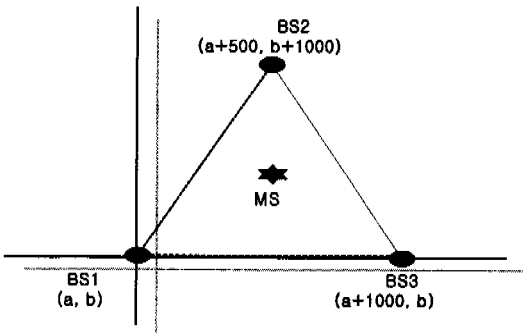


그림 1. 규칙 7셀 좌표

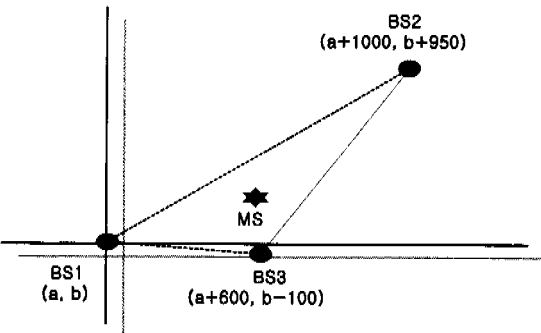


그림 2. 불규칙 셀 좌표

IV. 실험결과 및 고찰

결정 궤환 방식을 사용하였을 경우 규칙 7셀 좌표에 있어서, DF-DS PL과 DS PL은 별 차이가 없

었으며(그림 3, 표 1), DF-ILS는 ILS에 비하여 각각의 시간지연에 따라 평균적으로 측위오차 5.7%(그림 4), 표준편차 24.2%(표 1) 그리고 10,000m 이상의 측위오차를 나타내는 발산횟수는 평균 2배 감소하였으며(표 3), DF-ITS의 경우 역시 ITS에 비해 측위오차 5.7%(그림 5), 표준편차 24%(표 1) 그리고 발산횟수는 평균 3배 감소하였다(표 3). DF-Chan의 경우 시간지연이 길어짐에 따라 결정 궤환을 사용하지 않은 Chan PL보다 측위오차의 감소 폭은 더 커져서 평균 22% 감소하였으며(그림 6), 표준편차 역시 51% 감소하였다(표 1). 불규칙 셀을 사용하였을 경우 DF-DS는 DS에 비해 측위오차는 평균 31%(그림 8), 표준편차는 33% 감소하였다(표 2). DF-ILS의 경우 평균적으로 측위오차는 5.7%(그림 9), 표준편차는 206%(표 2) 그리고 발산횟수는 2.3배로 감소하였으며(표 3), DF-ITS의 경우 측위오차는 4.5%(그림 10), 표준편차 14.8%(표 2) 그리고 발산횟수는 5.7배 감소하였다(표 3). DF-Chan의 경우 규칙 7셀과 마찬가지로 시간 지연이 증가할수록 측위오차와(그림 11) 표준편차에(표 2) 있어서 많은 성능향상을 보였다. 그리고 초기값

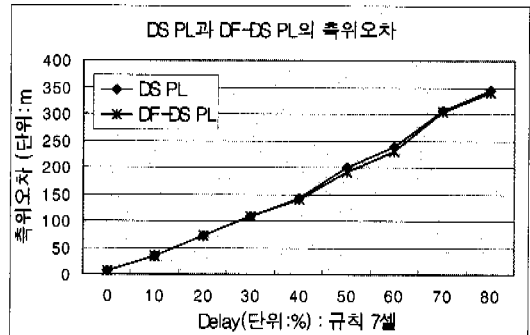


그림 3. DS PL과 DF-DS PL의 측위오차 (규칙 7셀)

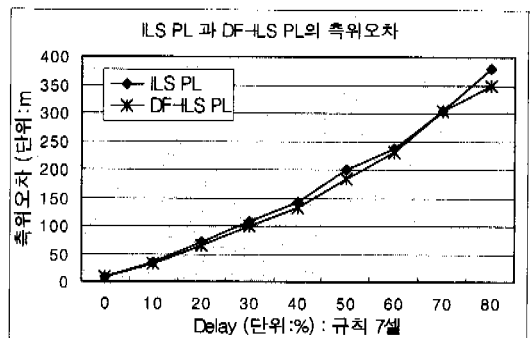


그림 4. ILS PL과 DF-ILS PL의 측위오차 (규칙 7셀)

을 사용하는 ILS, ITS와 달리 DS와 Chan 방식은 발산하는 경우가 발생하지 않았으며, 결정 계환 방식을 사용한 네 개의 알고리즘을 비교하였을 경우 규칙 7셀 좌표와(그림 5) 불규칙 셀 좌표에서(그림 12) 모두 DF-Chan 방식의 성능이 측위오차와 추정된 MS의 분포 밀집도를 나타내는 표준편차(표 1, 표 2) 그리고 발산횟수에 있어서 가장 좋은 성능을 보였다.

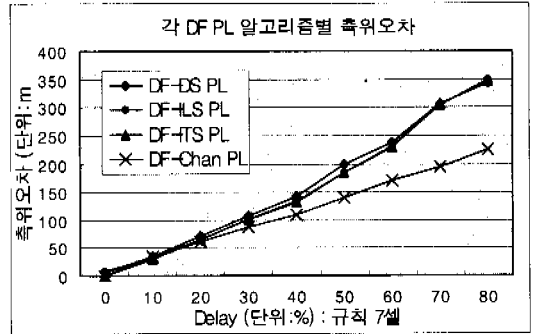


그림 7. 각 DF PL 알고리즘별 측위오차 (규칙 7셀)

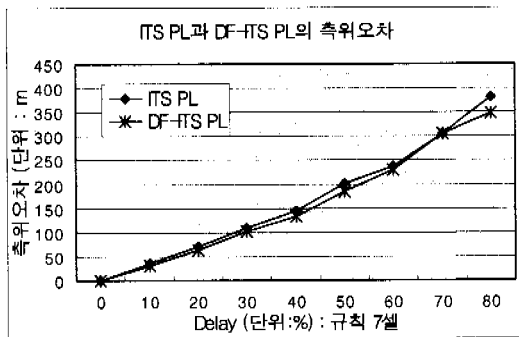


그림 5. ITS PL과 DF-ITS PL의 측위오차 (규칙 7셀)

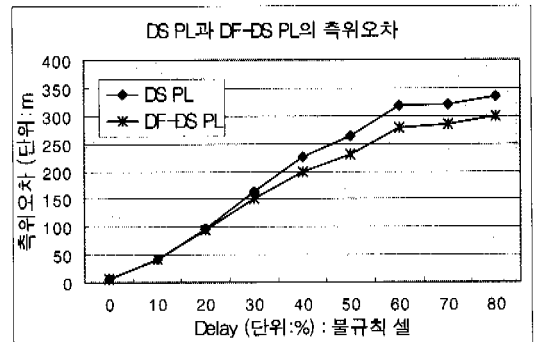


그림 8. DS PL과 DF-DS PL의 측위오차 (불규칙 셀)

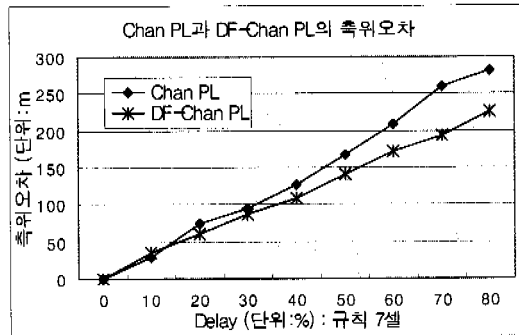


그림 6. Chan PL과 DF-Chan PL 측위오차 (규칙 7셀)

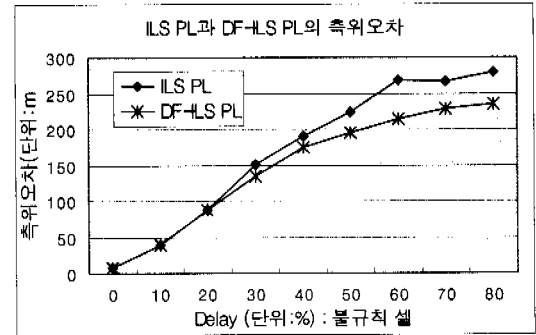


그림 9. ILS PL과 DF-ILS PL의 측위오차 (불규칙 셀)

표 1. 결정 계환 방법을 사용한 경우 표준편차: 규칙 7셀 좌표

Delay (단위:%)	DS	DF-DS	ILS	DF-ILS	ITS	DF-ITS	Chan	DF-Chan
0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	20	20	20	18	20	18	16	16
20	41	41	41	38	42	38	36	32
30	65	65	65	57	66	57	65	62
40	87	86	87	77	88	77	85	87
50	154	148	154	132	155	131	163	122
60	202	196	223	166	224	165	220	147
70	296	280	310	283	310	296	284	179
80	322	312	579	419	581	419	409	204

표 2. 결정 궤환 방법을 사용한 경우 표준편차 : 불규칙 셀 좌표

Delay (단위:%)	DS	DF-DS	ILS	DF-ILS	ITS	DF-ITS	Chan	DF-Chan
0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	36	36	23	23	22	23	23	23
20	86	84	58	58	54	62	56	5
30	149	129	296	93	117	95	103	86
40	191	163	237	142	212	260	122	98
50	208	178	224	139	294	210	130	105
60	218	191	429	148	233	164	123	100
70	228	201	349	173	195	190	133	116
80	237	210	338	170	270	215	141	128

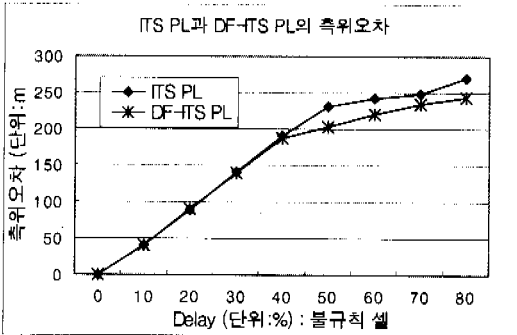


그림 10. ITS PL과 DF-ITS PL의 측위오차 (불규칙 셀)

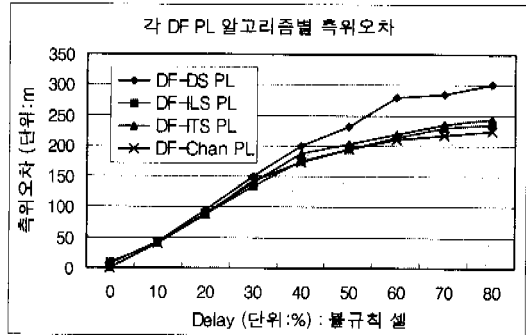


그림 12. 각 DF PL 알고리즘별 측위오차 (불규칙 셀)

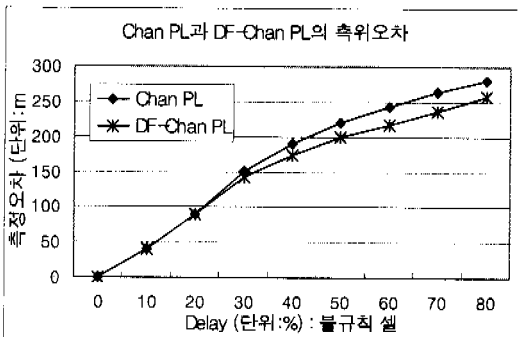


그림 11. Chan PL과 DF-Chan PL의 측위오차 (불규칙 셀)

V. 결론

제한한 결정 궤환(Decision Feedback) 방식은 전파의 도달시간을 이용하여 측위를 하는 경우, 추정된 MS의 좌표값을 다시 초기값으로 사용하거나 또는 BS와 MS사이의 의사거리 계산 시 추정된 MS의 좌표를 이용하여 재 계산함으로써 DS, ILS, ITS 그리고 Chan 방식의 성능을 개선하고자 하였다. 결정 궤환 방법을 사용한 경우 기존의 방법과 비교하여 측위오차, 표준편차 그리고 10,000m 이상의 측위오차를 나타내는 발산회수에 있어서 모두 기존의

표 3. ILS/DF-ILS와 ITS/DF-ITS의 1000번 모의실험 당 발산횟수

Delay (단위:%)	규칙 7셀 좌표				불규칙 셀 좌표			
	ILS	DF-ILS	ITS	DF-ITS	ILS	DF-ILS	ITS	DF-ITS
0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	15	12	6	4
40	0	0	0	0	80	40	24	4
50	0	0	0	0	180	78	41	8
60	3	2	1	0	243	113	45	7
70	4	1	2	1	301	99	44	4
80	8	4	3	1	353	145	39	8

