

IC-IPDL 기법을 이용한 무선 측위 시스템의 성능 개선

준회원 김 상 헌*, 정 양 석*, 정회원 윤 대 희*, 이 충 용*

Performance Improvement of Wireless Positioning System Using IC-IPDL Method

Sangheon Kim*, Yangseok Jeong* Associate Members,

Dae-Hee Youn* and Chungyong Lee* Regular Members

요 약

본 논문에서는 무선 통신 망을 이용하는 무선 측위 시스템의 hearability 문제를 해결하기 위하여 제시된 IPDL 기법을 CDMA 망에 미치는 영향을 최소화하도록 변형하여 사용하고 변형으로 인해 발생하는 문제점을 간섭 신호 제거 기법으로 해결하는 IC-IPDL 측위 시스템을 제안하였다. 제안된 IC-IPDL 기법에서는 CDMA 망의 안정화를 위해 CPICH를 제외한 모든 하향 링크 신호 전송을 중단하도록 IPDL을 변형하고, 동시에 단말기에서 간섭 신호 제거 기법을 사용하여 나머지 CPICH를 제거함으로써 hearability를 개선한다. 제안한 기법의 성능 평가를 위하여 신호의 지연 시간 정보(TOA/TDOA)를 이용하는 무선 측위 시스템으로 모의 실험을 수행하였고, 그 결과 제안된 기법이 idle period 구간에서 CPICH의 전송을 유지함에도 기존의 IPDL 기법과 유사한 측위 성능을 보임을 확인하였다.

ABSTRACT

We propose a wireless positioning system using IC-IPDL method that exploits the modified-IPDL method and the interference cancellation techniques to improve hearability. In the proposed system, IPDL method is modified to maintain the transmission of CPICH for stability of CDMA network. Simultaneously in mobile CPICH is cancelled out using the interference cancellation techniques for improving hearability. The simulation results showed that the proposed location system has a compatible performance to the standard IPDL method though CPICH exists during idle period.

1. 서 론

무선 통신 시스템에서 단말기의 정확한 위치 추정에 대한 필요성은 US FCC(Federal Communications Committee)의 E911의 긴급 서비스에 대한 의무 조항이 결정되면서 부각되었다. FCC의 규정에 따르면 통신 사업자는 67%의 확률에서 측위 오차가 100m 이내, 95%에서는 300m 이내의 정확도로 사용자의 위치 정보를 제공하여야 한다^[1].

무선 측위 시스템에는 측위를 위해 구성된 전용 망을 이용하는 측위 시스템과 기존의 통신 망을 이용하는 측위 시스템이 있다. 전용망을 이용하는 측위 시스템의 대표적인 예인 GPS(Global Positioning System)는 높은 정확도를 가진 측위 시스템으로, 단말기에 탑재된 GPS 수신 장비를 이용하여 세계이상의 GPS 위성으로부터 수신되는 신호로부터 단말기의 위치를 추정한다. 하지만 GPS의 경우 고가의 GPS 수신 장비를 단말기에 설치해야 하며 LOS(Line of Sight) 환경이 보장되어야 하는 문제

* 연세대학교 전기전자공학과 미디어·통신 신호처리 연구실(heon@mcs.yonsei.ac.kr)

논문번호 : 010168-0709, 접수일자 : 2001년 7월 9일

※ 본 연구는 정보통신부에서 지원하는 대학기초연구지원사업으로 수행되었습니다.

점이 있다. GPS 이 외에도 측위 전용망을 기반으로 하는 측위 시스템에는 Loran-C, LMS(Location and Monitoring Services)등을 들 수 있다. 이러한 측위 시스템은 정확도의 측면에서는 성능이 우수하지만 전용망을 구성해야하며 별도의 수신장비를 갖추어야하므로 비용이 많이 들고, 사용범위가 제한된다는 문제점이 있다. 이에 반해 기존의 무선 통신망을 이용하는 무선 측위 시스템의 경우 정확도는 낮지만, 기존 시스템의 큰 변형 없이 사용이 가능하고 고층 빌딩들이 많은 도심과 같은 환경에서도 측위가 가능하다는 장점이 있다. 하지만 기존 CDMA 이동 통신망을 이용하는 무선 측위 시스템의 경우 적어도 3개 이상의 기지국으로부터 신호를 수신해야 하므로 near-far 현상과 전력 제어 등에 의하여 주변 기지국의 신호를 수신하지 못하는 hearability 문제가 발생하게 된다^[2]. 이런 hearability 문제를 해결하기 위하여 Ericsson은 3GPP의 표준화 과정에서 IPDL(Idle Period DownLink)기법을 제안하였다^[3]. IPDL 기법은 소속 기지국이 짧은 시간 동안 모든 하향 링크 신호의 전송을 중지하여 주변 기지국 신호에 대한 간섭을 줄임으로써 hearability 문제를 개선하는 방법이다. 하지만 이 경우 모든 하향 링크 신호의 전송이 중지되기 때문에 기지국과 단말기간의 동기화나 hand-off 영역에 있는 단말기에서 문제점이 발생할 가능성이 있다.

본 논문에서는 이동 통신망의 안정성을 위하여 CPICH(Common Pilot Channel)의 전송을 유지하면서 나머지 하향 링크 채널의 전송을 중지하도록 IPDL 기법을 변형하고 idle period 구간에서 유지되고 있는 CPICH를 단말기에서 간섭 제거 기법을 사용해 제거하는 IC-IPDL 기법을 적용하여 hearability 문제를 개선한다. 그리고 hearability가 개선된 환경에서 신호의 지연 시간, TOA (Time of Arrival)/TDOA(Time Difference of Arrival)을 이용하는 무선 측위 시스템의 성능을 모의 실험을 통해서 분석한다.

II. Hearability 개선 기법

이동 통신망을 이용한 무선 측위 시스템의 hearability 개선을 위해 기존에 제안된 방식에는 PUF (Power Up Function), IPDL, 그리고 간섭제거기법 등의 방식이 있다. PUF는 IS-95B 표준에 제시된 기술로 그림 1과 같이 단말기의 전송 전력을 순간적으로 증가시켜 인근 기지국에서 단말기의 신호를

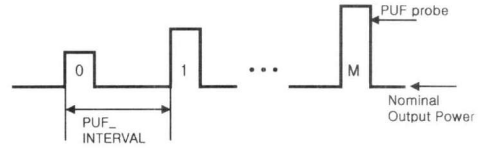


그림 1. Power UP Function

수신할 수 있도록 하여 hearability를 개선하는 방법이다^[4]. 그러나, PUF는 순간적으로 전송 전력이 커지는 만큼 다른 사용자에게 큰 간섭 신호로 작용하게 되는 단점이 있다.

IPDL 기법은 그림 2와 같이 소속 기지국이 idle period의 짧은 시간 동안 하향 링크 채널의 전송을 중지하여 인근 기지국 신호에 작용하는 소속 기지국 신호의 간섭을 줄임으로써 hearability를 개선하는 기법이다^[3]. 그림에서 살펴보면, node B1이 idle period를 발생시킬 때, node B1에 있는 단말기는 node B2~node Bn들로부터 전송되는 CPICH를 수신할 수 있게 된다. 이 외에도 IPDL 기법의 특별한 형태인 TA-IPDL(Time Aligned-IPDL), IPDL with burst pilot 등이 있다^{[5][6]}. 하지만, IPDL 기법에서는 idle period 구간에서 소속 기지국이 모든 하향 링크 채널의 전송을 중단하므로 측위 서비스를 받지 않는 다른 단말기의 경우 CPICH가 순간적으로 사라지게 된다. 이로 인해 단말기가 기지국과의 동기를 놓치게 되고, hand-off 영역에서 각 기지국 신호의 에너지 레벨을 측정할 때 에너지가 순간적으로 감소하게 되는 등의 문제점이 발생할 가능성이 있다.

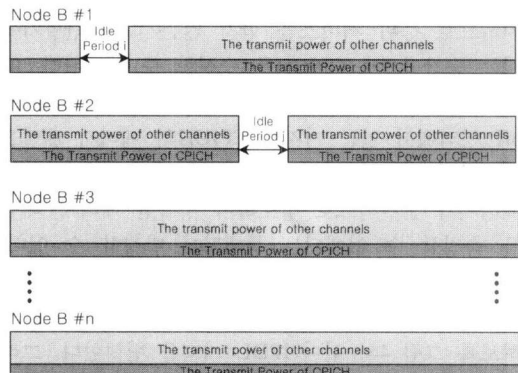


그림 2. IPDL 기법 개념도

PUF와 IPDL 외에도 hearability 개선을 위하여 그림 3과 같이 단말기 자체에서 소속 기지국의 파

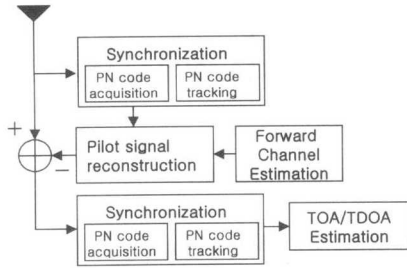


그림 3. 간섭 신호 제거 기법

일릿 채널을 제거함으로써 다른 기지국 신호에 대한 간섭을 줄이는 간섭 신호 제거 기법이 있다^[7].

파일럿 채널은 셀 내에 있는 모든 단말기에 공통적으로 전송되는 신호로, 강한 전송 전력을 갖고 있어 이에 따른 인근 기지국 신호에 작용하는 간섭 또한 매우 크다. 따라서 수신된 강한 파일럿 신호를 재구성하여 전체 수신 신호로부터 제거하면 간섭 성분을 줄이게 되고 결국은 hearability 문제를 개선하는 결과를 보인다. 그러나 파일럿 신호를 재구성하기 위해서는 채널 추정이 선행되어야 하며 이를 위해 파일럿 신호를 학습 신호열로 이용하는 채널 추정 기법이 이용된다. 간섭 신호 제거 기법의 경우 CDMA 망에 미치는 영향은 적지만, 하향 링크의 다른 채널들을 제거하지 못함으로 hearability 개선 성능이 떨어진다.

III. 제안한 IC-IPDL 기법

기존의 IPDL 기법의 경우, 소속 기지국이 idle period 구간에서 모든 하향 링크 채널의 전송을 중지하므로 측위 서비스를 받지 않는 다른 단말기에서는 순간적으로 CPICH를 수신할 수 없게된다. 따라서 단말기가 소속 기지국과 동기를 놓치고, hand-off 영역에서 인근 기지국 CPICH의 에너지 레벨을 측정하여 비교하고 있을 때 소속 기지국의 CPICH 에너지가 순간적으로 감소하여 정확한 에너지 레벨을 측정할 수 없게되는 문제점이 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 가능성을 최소화하기 위하여 idel period 구간에서 CPICH의 전송을 유지하도록 그림 4와 같이 IPDL 기법을 변형한다. 그리고 CPICH의 경우 전체 전송 전력의 10~20% 정도의 강한 전력으로 전송되기 때문에 idle period 구간에서의 CPICH의 전송은 다시 hearability 문제를 발생시키게 되고 간섭 제거 기법(IC:Interference Cancellation)을 사용하여 이를 효과적으로 해

결한다. CPICH의 경우 모든 단말기와 사전에 약속된 신호가 전송되기 때문에 단말기에서 채널을 추정하여 수신된 CPICH를 재구성하고 전체 수신 신호에서 제거하여 hearability를 개선할 수 있다. 이때 채널 추정에는 다음과 같은 학습 신호열을 사용하는 채널 추정 방법을 사용한다^[8].

전송된 k 번째 심볼을 $s[k]$, 채널의 순간 응답을 $h[k]$, 그리고 잡음을 $w[k]$ 라 하면 n 번째 심볼 구간에서 수신된 신호 $r[n]$ 는 식(1)과 같다.

$$r[n] = \sum_k h[k] s[n-k] + w[n] \quad (1)$$

여기서, L 차의 채널 순간 응답과 N sample의 수신된 신호를 고려하면 다음 식(2)와 같은 모델을 구성할 수 있다.

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} s[N-1] & s[N-2] & \cdots & s[N-L-1] \\ s[N-2] & s[N-3] & \cdots & s[N-L-2] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s[0] & s[-1] & \cdots & s[-L] \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} h[0] \\ h[1] \\ \vdots \\ h[L] \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} w[N-1] \\ w[N-2] \\ \vdots \\ w[0] \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$= H(s)_{N \times (L+1)} \vec{h} + \vec{w}$$

이때 \vec{w} 를 평균이 0인 Gaussian random 벡터로 가정하면 \vec{h} 에 대한 Maximum Likelihood 추정치 \hat{h} 는 식(3)과 같다.

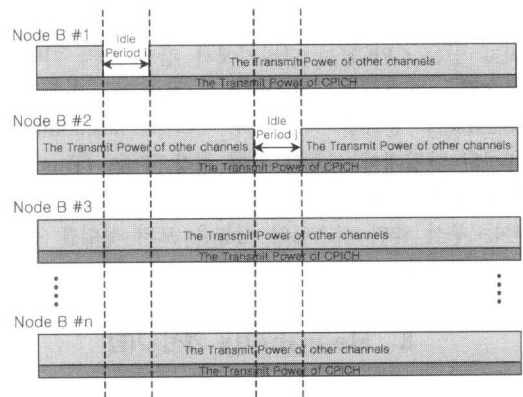


그림 4. 변형된 IPDL 기법의 개념도

$$\hat{h} = \arg \min \|\vec{r} - H(s)\vec{h}\|^2 = H^\dagger(s) \vec{r} \quad (3)$$

여기서 $H^\dagger(s)$ 는 $H(s)$ 의 pseudo-inverse이다.

제안된 기법의 hearability 문제를 분석하기 위해

여, 일반적인 경우의 CPICH의 칩(chip)에너지 대 간섭 및 잡음비를 유도하면 다음 식(4)와 같다⁹⁾.

$$\left(\frac{E_c}{N_{0,T}}\right)_{CPICH} = \frac{S_{CPICH}}{N_m + I_T} \quad (4)$$

$$= \frac{P_{CPICH}/L_T(R)}{N_m + I_T}$$

S_{CPICH} 는 CPICH에 대한 단말기에서의 수신전력, N_m 은 단말기에서의 잡음 전력, I_T 는 전체 간섭 전력, P_{CPICH} 는 CPICH에 대한 기지국의 전송 전력이고 $L_T(R)$ 는 거리 R 에 대한 전송 손실이다. 식(4)에서 전체 간섭 전력 I_T 는 자기 셀 간섭과 다른 셀 간섭으로 구성된다. 자기 셀 간섭 I_{sc} 는 지연되어 수신되는 다중 경로 성분들로 인해 채널들간의 직교성이 유지되지 못해서 발생하고, 다른 셀 간섭 I_{oc} 는 인근 다른 셀의 기지국에서 전송된 신호에 의해 발생한다. I_{sc} 와 I_{oc} 는 간섭이 없을 때 각각 식(5), (6)과 같이 단말기에서 수신된 전체 하향 링크의 전력 S 와 상수 K_{same} , K_{other} 로 표현된다.

$$I_{sc} = K_{same}S \quad (5)$$

$$K_{same} = \left(\sum_{j=1}^K \frac{\beta_j}{1-\beta_j}\right)^{-1}, \quad \sum_{j=1}^K \beta_j = 1$$

$$I_{oc} = K_{other}S = \left(\sum_i \frac{r_i^\gamma}{r_i^\gamma}\right)S \quad i = 1, 2, \dots \quad (6)$$

여기서, β_j 는 다중 경로 성분 각각의 상대적인 전력을 뜻하고, r 은 소속 기지국과 단말기 사이의 거리, r_i 는 주변 셀 기지국들과 단말기 사이의 거리를 의미한다. 식(5)와 식(6)에 의해 전체 간섭 전력 I_T 는 다음 식(7)과 같다.

$$I_T = I_{sc} + I_{oc} = (K_{same} + K_{other})S \quad (7)$$

IPDL 기법을 변형하여 사용하면, 수신하고자 하는 인근 기지국 신호에 대해서 소속 기지국 내의 CPICH 신호만이 간섭 신호로 작용하게 된다. 따라서 식(6)은 다음 식(8)과 같이 된다.

$$I_{oc} = \left(\sum_{i \neq 0, k} \frac{r_k^\gamma}{r_i^\gamma}\right)S + \frac{r_k^\gamma}{r_0^\gamma} S_{CPICH} \quad (8)$$

$$= K_{other, k}S + K_{other, 0} S_{CPICH}$$

여기서, r_k 는 구하고자 하는 인근 기지국과 단말기 사이의 거리를 나타낸다. 따라서 인근 기지국 CPICH 신호에 대한 $E_c/N_{0,T}$ 는 식(4)~(8)에 의해 식(9)와 같이 유도된다.

$$\left(\frac{E_c}{N_{0,T}}\right)_{CPICH} = \frac{P_{CPICH}/L_T(R)}{N_m + I_T} \quad (9)$$

$$= P_{CPICH} / \{N_m L_T(R) + (K_{same} + K_{other})P_{total} + K_{other,0} P_{CPICH}\}$$

식(9)에서 I_T 에 의해 발생하는 hearability 문제를 개선하기 위하여 $K_{other,0}P_{CPICH}$ 성분을 간섭 신호 제거 기법을 통해 완벽히 제거하면 그 결과는 IPDL 기법과 같게 된다.

IV. 모의 실험

1. Hearability 분석

Hearability 분석을 위해서 19개의 육각 셀로 2계층을 갖는 셀을 구성하여 모의 실험을 수행하였으며, 무선 측위에 사용되도록 제안된 modified-CODIT 모델¹⁰⁾을 채널 모델로 사용하였고 나머지 모의 실험에 사용된 계수들은 표 1과 같다.

표 1. 모의 실험 계수(parameters)

| Signal Used | CPICH |
|-------------------|---------------------------|
| Chip Rate | 3.84 Mchips/s |
| Sampling Rate | 8 × Chip Rate |
| Integration Time | 512 chips |
| Channel Model | Modified CODIT : UrbanA |
| BTS Separation | 2 km |
| Pathloss Model | beta + alpha × log(range) |
| Urban | alpha=3.52; beta=29.03 |
| Tx Power of BS | 43 dBm (20W) |
| Tx Power of CPICH | 33 dBm (2W) |
| Noise Floor | -118 dBm |
| Slow Fading Sigma | 8 dB |

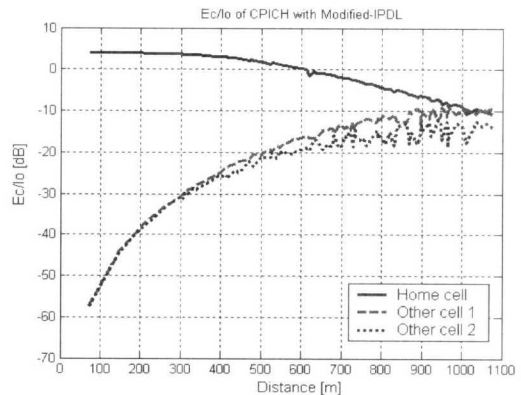


그림 5. 거리에 따른 CPICH의 $E_c/N_{0,T}$

그림 5는 짧은 반경이 1km인 셀에서 CPICH의 전송을 유지하도록 변형된 IPDL 기법을 사용했을 때, 거리에 따른 CPICH의 $E_c/N_{0,T}$ 를 보여주고 있다. 거리가 0인 지점이 소속 기지국이 있는 위치이며 거리가 멀어질수록 셀 경계에 가까워짐을 의미한다. 그림에서 살펴보면, 두 번째 인근 기지국 CPICH의 경우, 소속 기지국으로부터 650m이내인 지역에서 $E_c/N_{0,T}$ 값이 -15dB 이하로 나타났고 세 번째 인근 기지국의 경우에는 셀 대부분의 지역에서 -15dB 이하로 나타났다. 따라서, 변형된 IPDL 기법만으로는 hearability가 충분히 개선되지 못하고 간섭 신호 제거 기법이 필요함을 알 수 있다.

2. 무선 측위 성능 분석

Hearability 분석과 같은 모의 실험 환경으로 home 셀 내에서 단말기의 위치를 임의로 발생시키고, 단말기의 위치를 추정한 후 그 오차를 측정하는 실험을 수행하였다. 기지국에서 각 단말기로 전송된 신호로부터 시간 정보 TOA/TDOA 값을 추정하고 그 추정 값을 이용하여 Chan이 제안한 알고리즘으로 단말기의 위치를 추정하였다^[11]. Idle period 동안에 수신된 신호를 소속 기지국과 2개의 인근 기지국을 합한 총 3개 기지국의 CPICH와 각각 상호 상관시켜 결과 값의 첨두치로서 신호의 지연 시간을 추정하였다. 이때 사용된 상호 상관기의 적분 구간은 512chips이다. 그림 6과 그림 7은 IPDL 기법, 완벽한 채널 추정을 가정한 IC-IPDL 기법, 그리고 Maximum likelihood 채널 추정을 사용한 IC-IPDL 기법의 세 가지 경우의 측위 오차에 대한 누적 도수 분포(CDF)를 나타낸 것이다.

그림 6은 상호 상관기의 출력값 중 최대 첨두치로 시간 정보를 추정된 결과이다. 이 경우, 측위 오차가 100m 이내일 확률은 IPDL 기법이 63%, IC-IPDL(ideal) 기법이 62%, IC-IPDL 기법이 60%로 모두 유사한 성능을 보이고 있다. 그림 7은 시간 정보추정의 정확도 향상을 위해 MPR(multipath rejection)기법을 사용한 결과이다. MPR 기법은 최대 첨두치보다 앞서 있는 두 번째 첨두치를 지연 시간으로 추정하는 방법이다^[12]. MPR 기법을 적용한 경우를 보면, 측위 오차가 100m 이내일 확률이 각각 75%, 72%, 70%로 향상된 성능을 보이고 있다. 그림 6과 그림 7에서 볼 수 있듯이, 본 논문에서 제안한 IC-IPDL 기법은 idle period 구간에서 CPICH의 전송을 유지하면서 기존 IPDL 기법과 유사한 측위 성능을 보인다.

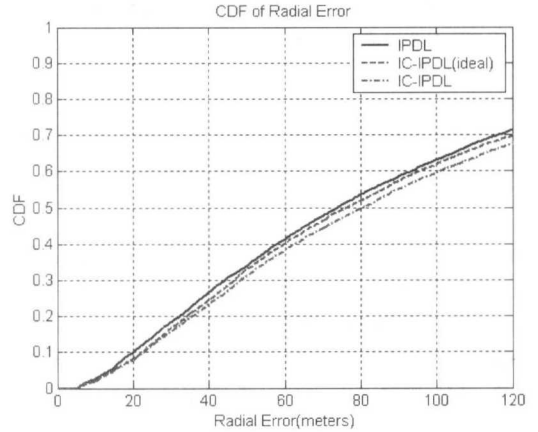


그림 6. 측위 오차의 누적 도수 분포

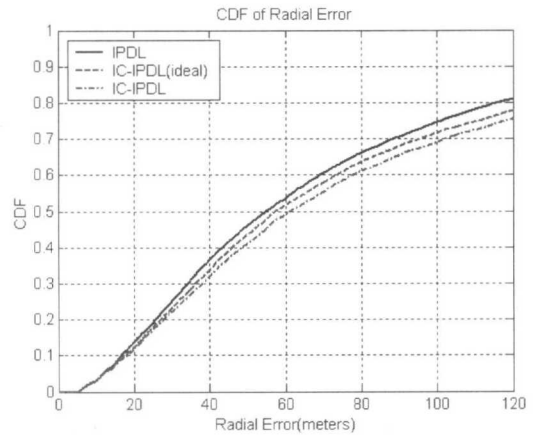


그림 7. MPR 기법 사용시 측위 오차의 누적 도수 분포

V. 결론

본 논문에서는 hearability 문제를 해결하기 위한 방안으로 제시된 IPDL 기법을 변형하여 이용하고 변형으로 인해서 발생하는 문제점을 간섭 제거 기법으로 해결한 무선 측위 시스템을 제안하였다. 기존의 IPDL 기법은 idle period 구간에서 소속 기지국이 모든 하향 링크 채널의 전송을 중지하지만, idle period 구간에서 CPICH 신호를 남겨두어 셀 내의 다른 단말기들이 기지국과의 동기를 놓치지 않도록 하고 hand-off 영역에 있는 단말기에도 아무런 영향을 끼치지 않도록 하는 변형된 IPDL 기법을 제안하였다. 그리고 idle period 구간에서 존재하는 CPICH 신호로 인하여 발생하게 되는 hearability 개선을 위해서, 단말기에서는 CPICH 신호를 재구성하여 수신된 신호에서 제거하는 방법을 사용하였

다. 모의 실험을 통하여 제안된 IC-IPDL 기법이 idle period 구간에서 CPICH의 전송을 유지하면서도 기존 IPDL 기법과 유사한 측위 성능을 가짐을 보였다.

참 고 문 헌

[1] FCC Docket No. 94-102, Enhanced 911 Emergency Calling Systems, RM-8143, Oct. 1999.

[2] T. S. Rappaport, J. H. and B. D. Woerner, "Position Location Using Wireless Communications on Highways of the Future," *IEEE Communication Magazine*, pp.33-41, Oct. 1996.

[3] Ericsson, "Method for Downlink Positioning (IP-DL)," Tdoc SMG2 UMTS-L1 327/98.

[4] TIA/EIA SP-3693 Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Spread Spectrum Cellular Systems.

[5] Motorola, "General Description of Time-Aligned IPDL," TSGR2#R2-99h92.

[6] Samsung, "The Performance enhancement of IPDL using Burst Pilot for LCS," TSGR2# 11(00)142.

[7] 정양석, 연명훈, 박준현, 유홍렬, 홍대식, 윤대희, 이충용, "CDMA 망에서 향상된 hearability를 갖는 무선 측위 시스템," *통신학회논문지*, vol. 26, no. 1B, pp. 52-58, 2001년 1월.

[8] Jitendra K. Tugnait, Lang Tong, Zhi Ding, "Single-User Channel Estimation and Equalization," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 17, pp.17-28, May 2000.

[9] Jhong Sam Lee and Leonard E. Miller, *CDMA Systems Engineering Handbook*, Artech House Publishers, 1998.

[10] Henrik Asplund, Patrik Lundqvist and Jan-Erik Berg, "A channel model for Positioning," COST 259 TD(98)20, Feb. 1998.

[11] Y. T. Chan and K. C. Ho, "A simple and efficient estimator for hyperbolic location," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 48, no. 2, pp.1905-1915, Aug. 1994.

[12] Brendan Ludden and Luis Lopes, "Cellular Based Location Technologies for UMTS: A

comparison between IPDL and TA-IPDL," *Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference*, vol. 2, pp.1348 -1353, May 2000.

김 상 현(Sangheon Kim)

준회원



2000년 2월 : 연세대학교
기계자공학부졸업

2000년 3월~현재 : 연세대학교
전기전자공학과
석사과정

<주관심 분야> 무선 측위,
이동 통신

정 양 석(Yangseok Jeong)

준회원

한국통신학회 논문지, 제26권, 제1B호 참조

윤 대 희(Dae-Hee Youn)

정회원

한국통신학회 논문지, 제24권, 제7A호 참조

이 충 용(Chungyong Lee)

정회원

한국통신학회 논문지, 제24권, 제7A호 참조