초광대역 방식의 실내 무선 위치인식 시스템에 적합한 도착시간 추정 알고리즘

종신회원 이 용 업*

A Time-of-arrival Estimation Technique for Ultrawide Band Indoor Wireless Localization System

Yong Up LEE* *Lifelong Member*

요 약

초광대역 방식의 실내 무선 위치인식 추정에서 비 가시거리 환경으로 인한 불규칙한 신호 도착시간 또는 클러스터화 된 다중경로 성분들의 겹침으로 인해, 도착시간 매개변수 추정 기법들은 합리적인 도착시간 (TOA) 매개변수를 얻는데 어려움을 가진다. 이 문제를 극복하고 우수한 성능의 초광대역 실내 무선 위치인식 추정을 달성하기 위해 종래 추정 기법과 다르고 클러스터 문제에 영향을 거이 받지 않는 강인한 TOA 매개변수 추정 기법과 초광대역 신호 모형을 제안한다. 컴퓨터 모의실험을 통해 제안 모형과 추정기법의 타당성을 검증하고 추정오차의 성능도 분석한다.

Key Words : Wireless localization, Position location, Ultrawide band (UWB), Indoor wireless channel, Parameter estimation, Random time interval, Time-of-arrival (TOA), Clustered multipath signals, Performance analysis, MUSIC technique

ABSTRACT

In an ultrawide band (UWB) indoor wireless localization, time of arrival (TOA) parameter estimation techniques have some difficulties in acquiring a reasonable TOA estimate because of the clustered multipath components overlapping or random time intervals mainly due to non line-of-sight (NLOS) environment. In order to solve that problem and achieve an excellent UWB indoor wireless localization, we propose a UWB signal model and a robust TOA parameter estimation technique that has little effect on the clustered problems unlike the conventional technique. Through simulation studies, the validity of the proposed model and the TOA estimation technique are examined. The performance of estimation error is also analyzed.

I. 서 론

무선 위치인식 기술은 대개 매개변수 추정과 데이터 융합 알고리즘을 함께 사용한다. 매개변수 추정 기법은 도착시간 (TOA), 도착방향 (AOA), 또는 수신 신호세기 (RSS) 등의 매개 변수를 추정하는 과정이며, 데이터 융합은 앞의 추정된 매개변수를 사용하여 목표의 위치를 결정하는 과정이다.[1] 여러 가지 매개변수 추정기법 중에 TOA 매개변수 추정 기반 무선 위치인식 기법이 다른 기법보다 더 정확한 위치를 추정한다고 이전 연구[2]에 나와 있다.

하지만, 실내 무선채널은 클러스터 화된 수많은

※ 이 논문은 2009년도 한림대학교 교비연구비(HRF-2009-036)에 의하여 연구되었음.
* 한림대학교 전자공학과 (yulee@hallym.ac.kr)
논문번호 : KICS2009-03-108, 접수일자 : 2009년 3월 10일, 최종논문접수일자 : 2009년 7월 29일

다중경로 신호들, 겹쳐진 다중경로 신호들, 수신기에서의 불규칙 도착시간 간격 등의 특성을 가지므로, TOA 매개변수 추정 기반 무선 위치인식 기술은 정확한 TOA 추정치를 얻기 어렵다. 클러스터화된 다중경로 성분들에 의한 문제이외에도, 비 가시거리, 다중접속 등의 채널 환경 등으로 부정확한 TOA 매개변수 추정치를 얻게 된다.[3]

한편, 초광대역 신호는 겹쳐진 다중경로 신호들을 구분하는 우수한 능력을 가지므로, 협대역 신호 대신 수 피코 초 단위를 가지는 매우 짧은 시간간격 펄스인 초광대역 신호 선택이 매개변수 추정 성능을 매우 우수하게 만든다고 실내 무선 위치인식 기술에서 알려져 있다.[4]

그림 1에서 볼 수 있는 초광대역 무선 위치인식 기반의 TOA 매개변수 추정은 단 한 개의 전송 펄스가 초광대역 수신기에 도착하는 클러스터 화된 수 많은 다중경로 신호들을 생성하며, 이 때, 첫 번째 도착되는 신호의 도착시간이 TOA 매개변수 값이다.[5]

하지만, 비가시거리 또는 다중접속 환경인 경우, 초광대역 수신기에 도착된 첫 번째와 두 번째 경로 신호들은 서로 구별이 잘 되지 않는 경우도 있는데, 그림 2(b)에서 볼 수 있듯이, 연속 도달 또는 시간적으로 겹치는 것 때문이다. 이 경우는 TOA 매개변수를 정확하게 추정할 수 없다. 이 논문에서는 우수한 성능의 초광대역 실내 무선 위치인식 기법을 위해 이런 문제를 해결할 수 있는 새롭고 강인한 TOA 매개변수 추정기술을 생각하여 제안한다.

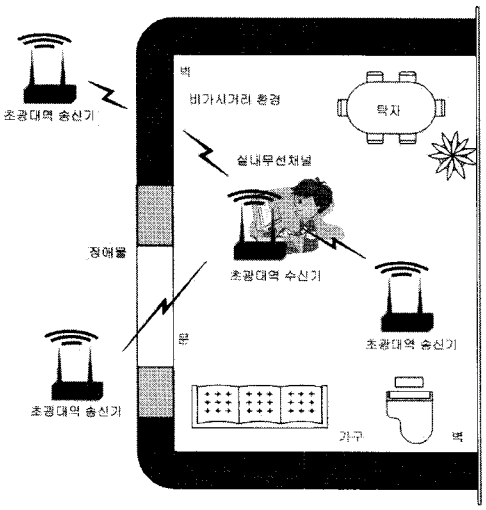

그림 1. 초광대역 실내 무선 위치인식 시스템을 위한 TOA 매개변수 추정 예제

이 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, Ⅱ절에서 초광대역 실내 무선 위치인식 시스템의 TOA 매개변수 추정을 위한 신호 모형을 생각하여 제안하고, Ⅲ절에서는 초광대역 신호원 수를 알 때와 모르는 경우 각각 새롭고 강한 TOA 매개변수 추정 기법을 보인다. Ⅳ절은 초광대역 신호 모형과 제안된 추정 기법을 컴퓨터 모의실험으로 검증하고, 마지막으로 Ⅴ절에서 결론이 언급된다.

Ⅱ. TOA 추정을 위한 초광대역 신호 모형

TOA 매개변수 추정과 데이터 융합 기법을 사용해 그림 1의 초광대역 송신기인 목표물 위치를 알기 위해, 먼저 그림 1과 같은 무선 위치인식 시스템을 구성하자. 여기서, 초광대역 실내 무선 채널은 각각 가시거리와 비 가시거리 환경을 가지며, 초광대역 송신기는 무선 채널을 통해 세 대의 초광대역 수신기 각각 초광대역 펄스를 전송한다. 그러면, 각 수신기에는 클러스터 화 된 다중 경로 신호들이 유기된다.

이전의 TOA 매개변수 추정연구 결과인 참고문헌[3]-[4]를 보면, TOA 매개변수 값은 대개 그림 2(b)와 같은 가시거리 환경에서 초광대역 수신기에 도달하는 첫 번째 신호의 도착 시간으로 한다. 하지만, 그림 2(c)와 같은 어려움으로 비 가시거리 환경으로 TOA 매개변수 값을 쉽게 결정할 수 없다. 즉, 초광대역 수신기에서 클러스터 화된 다중 경로 신호들이 시간적으로 겹쳐 도착되는 경우에 수월한 추정을 할 수 없다. 이 논문에서는 종래와 같이 TOA 값을 추정하면 적절한 TOA 추정치를 얻지 못하므로, 먼저, 클러스터 화 된 다중경로 신호들의 중심 값과 최대퍼짐 정도를 추정한다. 그런 후, 추정된 두 개의 매개변수 인 중심 값 Γ^c와 최대 퍼짐 값인 τ^{max}를 사용해 TOA 값을 계산한다.

다음과 같은 시간 응답을 가지는 초광대역 실내 채널을 생각하자.

$$h(t)=\sum_{i=1}^{M}\sum_{m=1}^{Q}\alpha_{i,m}\delta(t-\tau_{i,m}) \qquad (1)$$

여기서, $\alpha_{i,m}$는 i번째 클러스터 안의 m번째 다중경로 성분의 크기이며, $i=j$와 $m=k$ 조건에서 $E\alpha_{i,m}\alpha_{j,k}^{*}=|\alpha|^2$이다. $\tau_{i,m}$는 i번째 클러스터 안의

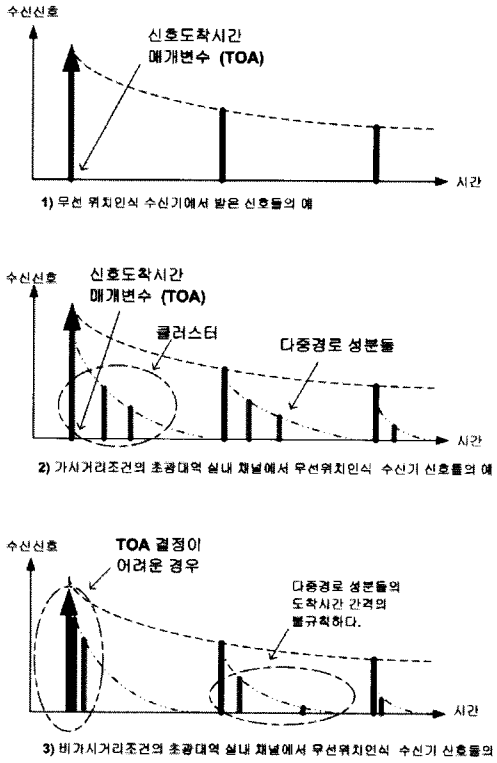

그림 2. 초광대역 실내 무선 위치인식 환경에서 무선 채널의 시간특성 예

m번째 다중경로 성분의 시간지연 성분이다.

그림 1에 있는 초광대역 실내 무선 위치인식에서는 피코 초 단위의 짧은 초광대역 펄스를 초광대역 송신기에서 실내 무선채널을 통해 시간도약 방식으로 세 대의 초광대역 수신기로 보낸다. 여기서, 세 대의 수신기에서 받은 신호들은 모두 그림 2(c)와 유사하게 클러스터 화 된 다중경로 신호들이라 가정한다. 하지만, 무선채널이 가시거리 환경이면, 초광대역 수신기의 신호들은 그림 2(a)와 같은 형태이다. 참고문헌[3]-[4]의 이전 실험결과에는 대략적으로 수 개의 클러스터에는 수 백개의 다중경로 성분들이 있다고 한다.

분석을 위해, 각 초광대역 수신기에 도달하는 M개의 클러스터에는 각각 Q개의 다중경로 신호들이 있는 것으로 가정한다. 그러면, 수신기의 초광대역 신호들은 다음과 같다.

$$y(t)=\sum_{i=1}^{M}\sum_{m=1}^{Q}\alpha_{i,m}x(t-\tau_{i,m})+\eta(t) \qquad (2)$$

여기서, $x(\cdot)$는 정규 단일주기 펄스의 2차 미분인 수신된 초광대역 단일 주기 펄스이며, $\alpha_{i,m}$과 $\tau_{i,m}$는 각각 i번째 클러스터 안의 m번째 다중경로 성분의 크기와 도착시간 값이다. $\eta(t)$는 각 수신기에 유기된 가산성 백색 잡음이다.

대개, 실내 무선 위치인식 시스템은 단거리 통신이며, 초광대역 채널은 평탄 페이딩 특성을 가진다. 이런 이유로 그림 2(b)에 클러스터 화 된 다중경로 성분 크기는 물론 어떤 경우에는 적절하지 않지만, 거이 같아 $\alpha_{i,1}\simeq\cdots\simeq\alpha_{i,Q}\simeq\overline{\alpha_i}$로 할 수 있다.

이때, $\overline{\alpha_i}\equiv(1/Q)\sum_{m=1}^{Q}\alpha_{i,m}$로 평균 페이딩 값이다. 시간 영역 대신 주파수 영역에서 다루기 위해, 초광대역 수신 신호 $y(t)$를 주파수 영역 신호로 변환하자. 그러면, 초광대역 수신기에서 스펙트럼은 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$Y(f)=\sum_{i=1}^{M}\overline{\alpha}_{i}X(f)\sum_{m=1}^{Q}e^{-j2\pi f\tau_{i,m}}+\zeta(f) \qquad (3)$$

여기서, $Y(f),\widetilde{\alpha_i}X(f)$ 와$\zeta(f)$는 각각 $y(t),\overline{\alpha_i}$, $x(t),\eta(t)$에 대응하는 주파수 영역 값들이다. 분석을 위해서, 주파수 영역 값들은 다시 이산 주파수 영역 값들로 변환하면, 식(3)에 표본화 정리를 적용하여, N번의 표본화 조건에서 식(2)의 수신 스펙트럼 $Y(f)$를 NT_s만큼 표본화하면, 수신기에서 얻는 스펙트럼은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Y(\frac{k}{NT_s})=\sum_{i=1}^{M}\overline{\alpha}_{i}X(\frac{k}{NT_s})\sum_{m=1}^{Q}e^{-j2\pi\tau_{i,m}\frac{k}{NT_s}}+\zeta(\frac{k}{NT_s}) \qquad (4)$$

여기서, $k=1,2,\cdots,N$, $Y(\frac{k}{NT_s})$, $X(\frac{k}{NT_s})$, $\zeta(\frac{k}{NT_s})$는 $Y(f),X(f),\zeta(f)$에 대응하는 이산 주파수영역 값들이다.

불규칙적인 초광대역 신호의 도착시간을 다루고 추정하기 위해서, 먼저 도착시간 $\tau_{i,m}$을 확률변수 γ 라고 하자. 그런데, 이전의 무선채널 연구인[5]-[6]에 따르면, 클러스터 개수는 둘 또는 셋인 작은 값이지만, 클러스터 안에 있는 다중경로 성분들의 개수는 수백인 매우 큰 값으로 클러스터 수에 비해

무한 값으로 생각할 수 있다.

그러면, 새로 클러스터 화된 다중경로 신호 함수 D_k 를 다음과 같이 정의하자.

$$D_k(\Gamma^c\tau^{\max}) = Ee^{-j2\pi\tau_{i,m}\frac{\gamma}{NT_s}} = \int e^{-j2\pi\tau_{i,m}\frac{\gamma}{NT_s}} f(\gamma)d\gamma. \quad (5)$$

여기서, $f(\gamma)$는 γ의 확률밀도 함수이며, γ_c와 $\tau^{\max}$는 확률변수 γ 또는 종래 개념의 TOA 매개변수 대신 추정 매개변수들이 된다.

γ_i는 균일 확률분포특성으로 $f(\gamma_i)=\frac{1}{2\tau_i^{\max}}$, $\Gamma_i^c-\tau_i^{\max}\le\gamma_i\le\Gamma_i^c+\tau_i^{\max}$ 조건의 확률밀도함수를 가지며, Γ_i^c와 $\tau_i^{\max}$는 i번째 클러스터 화 된 다중경로 성분들의 중심과 최대 퍼짐정도 변수라고 각각 하면, 클러스터 화 된 다중경로 신호 함수 D_k는 다음과 같다.

$$D_k(\Gamma_i^c,\tau_i^{\max}) = \int_{\Gamma_i^c-\tau_i^{\max}}^{\Gamma_i^c+\tau_i^{\max}} \frac{1}{2\tau_i^{\max}} e^{-j2\pi k\frac{\gamma_i}{NT_s}} d\gamma_i = \frac{\sin(2\pi k\tau_i^{\max}/NT_s)}{(2\pi k\tau_i^{\max}/NT_s)} e^{-j2\pi k\Gamma_i^c/NT_s}. \quad (6)$$

그러면, 초광대역 수신기에서 얻은 스펙트럼들은 D_k와 식(4)로부터 다음과 같이 구해진다.

$$Y(\frac{k}{NT_s}) = \sum_{i=1}^{M}\tilde{\alpha}_i X(\frac{k}{NT_s}) D_k(\Gamma_i^c,\tau_i^{\max}) + \zeta(\frac{k}{NT_s}). \quad (7)$$

분석을 위해, 다음과 같이 벡터와 행렬단위를 정의하자.

$$\underline{Y}=[Y(\frac{1}{NT_s})\cdots Y(\frac{k}{NT_s})\cdots Y(\frac{N}{NT_s})]^T \in C^{N\times 1},$$
$$\alpha=[\tilde{\alpha}_1\cdots\tilde{\alpha}_i\cdots\tilde{\alpha}_M]^T\in C^{M\times 1},$$
$$D_X=[\underline{D_X}(\Gamma_1^c,\tau_1^{\max})\cdots\underline{D_X}(\Gamma_i^c,\tau_i^{\max})\cdots \underline{D_X}(\Gamma_M^c,\tau_M^{\max})]\in C^{N\times M},$$
$$\underline{D_X}(\Gamma_i^c,\tau_i^{\max}) = [X(\frac{1}{NT_s})\cdot D_1(\Gamma_i^c,\tau_i^{\max}) \cdots X(\frac{N}{NT_s})\cdot D_N(\Gamma_i^c,\tau_i^{\max})]^T\in C^{N\times 1},$$
$$\zeta=[\zeta(\frac{1}{NT_s})\cdots\zeta(\frac{k}{NT_s})\cdots\zeta(\frac{N}{NT_s})]\in C^{N\times 1}.$$

여기서, C 는 복소수 공간을 나타낸다.

그러면, 초광대역 수신기에서 얻은 스펙트럼들은 벡터와 행렬 형식을 사용하면 단순히 다음과 같이 된다.

$$\underline{Y}=D_X\alpha+\zeta. \quad (8)$$

또한, 공분산 행렬은 다음과 같다.

$$R_Y = E\{\underline{Y}\,\underline{Y}^H\} = D_X R_x D_X^H + \sigma I. \quad (9)$$

여기서 클러스터 화 된 다중경로 신호들은 서로 상관관계가 없고 $R_x=E\alpha\alpha^H\in C^{M\times M}$의 신호 공분산 행렬을 가지며. 최대 랭크를 가진다. 즉, $rank(R_x)=M$, $rank(R_Y)=N$이다. 또한, 잡음도 서로 공간적 시간적으로 상관관계가 없고 잡음의 공분산 행렬은 $E\zeta\zeta^H=\sigma I\in C^{N\times N}$이다.

Ⅲ. TOA 매개 변수 추정 기법

초광대역 수신기에서 불규칙하게 도착되는 신호 γ를 직접적으로 추정하는 것이 대체로 어려우므로, 클러스터 화 된 다중경로 성분들의 중심 값인 Γ^c와 최대 퍼짐정도 $\tau^{\max}$를 추정하면, 종래 방식의 TOA 값을 얻는 간단한 과정과 같이 하면 된다.

2절의 초광대역 신호 모형에서 제시한 클러스터 화 된 다중경로 성분들의 중심 값인 Γ^c와 최대 퍼짐정도 $\tau^{\max}$를 추정하기 위해서, 클러스터 다중경로 문제, 예를 들면 신호 겹침이나 불규칙한 신호도착에 영향을 거이 받지 않는 새롭고 강한 매개변수 추정 기법을 제안한다. 즉, 종래 방식의 TOA 추정 기법[4]-[5],[7]과 다르게, 중심 값 Γ^c와 최대 퍼짐정도 $\tau^{\max}$의 추정은 앞에 언급한 문제와 전혀 관계가 없게 된다. 그런데, 제안 기법은 초광대역 클러스터

신호 개수를 알거나 모르는 경우, 각각 사용되는 방법[8]-[9]인 다중신호 분류 (MUSIC) 알고리즘 또는 일반화 된 다중신호 분류 알고리즘으로 알려진 종래의 추정기법에 근거하며, 이를 확장 변경하여 사용한다.

여기서, 불규칙 도착 변수 γ_i는 균일 분포를 가지며 초광대역 수신기에서 클러스터 개수 M은 미리 알고 있다고 하자. 물론, 이 논문에서 제안한 방법은 다른 확률 분포에도 적용될 수 있다. 그러면, 매개변수 추정은 확률변수 γ_i 대신 모르는 값의 두 가지 매개변수 종류들인 $(\Gamma_i^c, \tau_i^{\max})$ 에 대한 추정이 된다. 여기서 $i=1,2,...,M$이다.

분석을 위해, 식 (9)의 공분산 행렬 R_Y의 고유치들을 $\lambda_1 > \cdots > \lambda_M > \lambda_{M+1} = \cdots = \lambda_N$라고 하고, 고유치 $[\lambda_1, \cdots, \lambda_M]$에 대응하는 고유벡터들은 $[\underline{e}_1, \cdots, \underline{e}_M]$, 고유치 $[\lambda_{M+1}, \cdots, \lambda_N]$에 대응하는 고유벡터는 $[\underline{e}_{M+1}, \cdots, \underline{e}_N]$라고 하자. 또한, 신호 부공간을 $S=[\underline{e}_1, \ldots, \underline{e}_M]$라고 하고, 잡음 부공간은 $G=[\underline{e}_{M+1}, \ldots, \underline{e}_N]$라고 하자. 그러면, 식 (9)의 공분산 행렬 R_Y에 대한 고유분해를 통해서, 잡음 부공간 G와 다음 식을 얻을 수 있다.

$$R_Y \cdot G = D_X R_X D_X^H \cdot G + \sigma I \cdot G = \sigma G \quad (10)$$

$$\underline{D}_X(\Gamma^C, \tau^{\max})^H G G^H \underline{D}_X(\Gamma^C, \tau^{\max}) = 0 \quad (11)$$

여기서 $(\Gamma^c, \tau^{\max}) \in (\Gamma_1^c, \tau_1^{\max}), \cdots, (\Gamma_M^c, \tau_M^{\max})$이다. 그런데, R_Y는 알 수 없으므로 다음과 같은 표본 공분산 행렬을 사용한다.

$$\widehat{R}_Y = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N} \underline{Y}(k)\,\underline{Y}^H(k). \quad (12)$$

표본 공분산 행렬 $\widehat{R}_Y$ 을 사용하여 앞 단계를 다시 수행하면, $\underline{\hat{e}}_1, \cdots, \underline{\hat{e}}_M, \underline{\hat{e}}_{M+1}, \cdots, \underline{\hat{e}}_N$는 $\widehat{R}_Y$의 내림수 순 고유치에 대응하는 고유벡터이며, $\hat{S}=[\underline{\hat{e}}_1, \ldots, \underline{\hat{e}}_M]$는 표본 신호 부공간, 그리고 표본 잡음 부공간은 $\hat{G}=[\underline{\hat{e}}_{M+1}, \ldots, \underline{\hat{e}}_N]$이다. 그러면, 제안 기법의 표본 영 스펙트럼은 다음같이 주어진다.

$$f(\Gamma^c, \tau^{\max}) = \underline{D}_X(\Gamma^c, \tau^{\max})^H \hat{G}\hat{G}^H \underline{D}_X(\Gamma^c, \tau^{\max}) \quad (13)$$

또한, i 번째 클러스터 화 된 다중경로 성분들의 중심 값 Γ_i^c와 최대 퍼짐정도 $\tau_i^{\max}$의 추정치들은 다음 식에서 얻을 수 있다.

$$(\hat{\Gamma}_i^c, \hat{\tau}_i^{\max}) = \arg \min_{\Gamma^c, \tau^{\max}} f(\Gamma^c, \tau^{\max}). \quad (14)$$

그러므로 종래 개념의 TOA 값은 $\hat{\Gamma}_i^c - \hat{\tau}_i^{\max}$와 같은 단순 관계식으로 얻을 수 있다.

한편, 앞에서 언급한 제안 기법은 클러스터 개수 M을 알 지 못하는 경우에는 적용할 수 없고 미리 알고리즘 적용 전에 신호원 수 결정 알고리즘을 적용하여 신호원 수를 알아야 한다. 이런 경우 신호원 수 정보가 없이도 사용할 수 있는 매개변수 추정 기법을 생각하자. 대부분 신호원 수는 전체 공간에서 잡음 부공간을 분리하는데 사용한다. 전체공간을 $F \equiv [\hat{S}: \hat{G}]$, $\Lambda \equiv \mathrm{diag}[(\hat{\lambda}_1/\hat{\lambda}_N), \cdots (\hat{\lambda}_M/\hat{\lambda}_N), (\hat{\lambda}_{M+1}/\hat{\lambda}_N), \cdots (\hat{\lambda}_N/\hat{\lambda}_N)]$로 정의하면, 식 (13)의 표본 영 스펙트럼은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$f_n(\Gamma^c, \tau^{\max}) = \underline{D}_X(\Gamma^c, \tau^{\max})^H \hat{F}\Lambda^{-n}\hat{F}^H \underline{D}_X(\Gamma^c, \tau^{\max}). \quad (15)$$

그래서, 클러스터 개수 M을 모르는 경우에도 i 번째 클러스터 화 된 다중경로 성분들의 중심 값 Γ_i^c와 최대 퍼짐정도 $\tau_i^{\max}$의 추정치들은 다음 식에서 얻을 수 있다.

$$(\hat{\Gamma}_i^c \hat{\tau}_i^{\max}) = \arg \min_{\Gamma^c, \tau^{\max}} f_n(\Gamma^c, \tau^{\max}). \quad (16)$$

Ⅳ. 모의실험

2절과 3절에서 제안된 초광대역 신호 모형과 새롭고 강인한 TOA 매개변수 추정 기법을 증명하기 위해서, 제안한 기법의 컴퓨터 모의실험과 분석을 해보자. 먼저, 간단한 계산을 통해 종래 개념의 TOA 매개변수 값을 얻을 수 있는 초광대역 클러스터 다중경로 성분들의 중심 값 Γ^c와 최대 퍼짐정도 $\tau^{\max}$의 추정치를 구해보자. 그런데, 중심 값 Γ^c와 최대 퍼짐정도 $\tau^{\max}$의 추정은 신호 겹침 또

는 불규칙하게 도착되는 신호 문제와 관련이 없다. 컴퓨터 모의실험은 그림 1의 무선 위치인식 시스템을 고려하여 수행한다.

그림 1에서 세 대의 초광대역 송신기로부터 전송되어 초광대역 수신기에 도착된 클러스터 화 된 다중경로 신호성분들은 2절의 식 (7)에 있는 초광대역 신호 모형에 따라 생성시켜 얻는다. 이 경우 확률변수 γ는 균일 확률분포 함수의 특성을 가졌으며, 매트 랩 소프트웨어의 균일 확률변수 발생 함수를 사용해 구현하였다. 모의실험 조건은 다음과 같다. 각 클러스터 당 다중경로 성분의 개수 Q는 150이며, 표본 개수는 $N=100$, 신호 대 잡음비는 SNR = 20 dB, 클러스터 개수 M은 3이다. 그런데, 초광대역 수신기에서 M을 모르는 경우에도 제안 기법을 사용하여 모의실험을 수행하였다. 먼저, 그림 1에서 세 개의 초광대역 신호가 초광대역 수신기에 도착할 때 클러스터 중심 값들 (Γ^c)과 최대 퍼짐정도 값들 ($\tau^{\max}$) 의 추정치들을 얻어 보자. 각각의 클러스터 화 된 다중경로 신호들은 초광대역 송신기를 통해 비 가시거리와 가시거리 환경이 합쳐진 실내 무선채널을 통해 초광대역 수신기로 보내진다.

한편, 클러스터 화 된 다중경로 신호원들은 아래 조건으로 초광대역 송신기에서 생성되어 실내채널을 거쳐 초광대역 수신기에서 얻는데, 신호 생성조건은 $(\Gamma^{c_1},\tau^{\max_1})=(9,3)$[psec], $(\Gamma^{c_2},\tau^{\max_2})=(16,2)$[psec], $(\Gamma^{c_3},\tau^{\max_3})=(29,4)$[psec]이다.

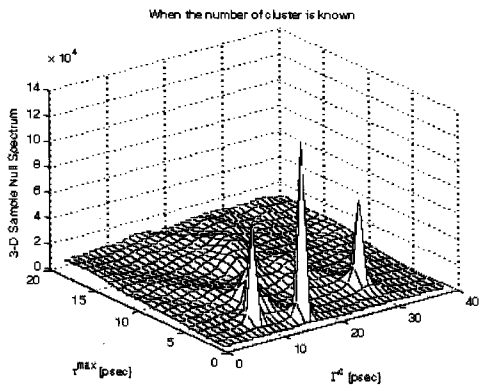

그림 3. 식 (13)에서 얻은 3차원 표본 영 스펙트럼 $f(\Gamma^c,\tau^{\max})$

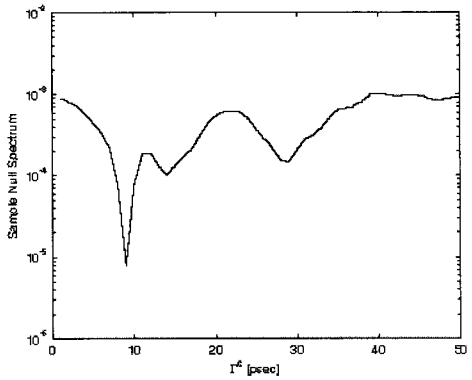

그림 4. 그림 3의 3차원 스펙트럼에서 $\widehat{\tau^{\max}}=3$[psec] 조건으로 얻은 표본 영 스펙트럼

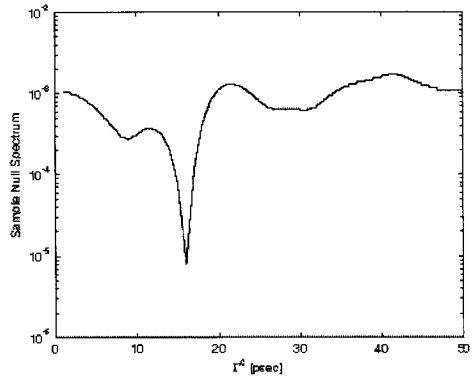

그림 5. 그림 3의 3차원 스펙트럼에서 $\widehat{\tau^{\max}}=2$[psec] 조건으로 얻은 표본 영 스펙트럼

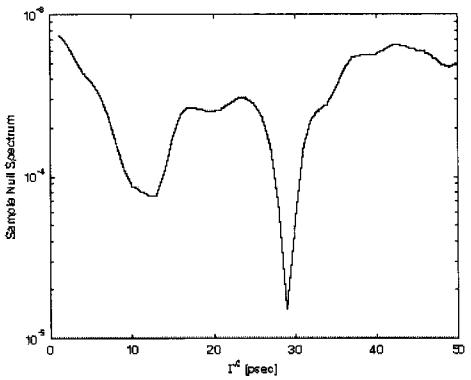

그림 6. 그림 3의 3차원 스펙트럼에서 $\widehat{\tau^{\max}}=4$[psec] 조건으로 얻은 표본 영 스펙트럼

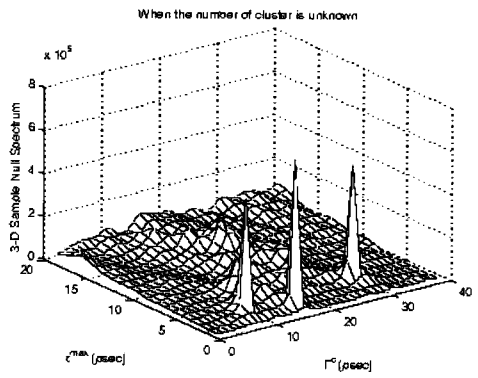

그림 7. 그림 3과 동일한 모의실험 조건아래서 클러스터 신호원 수 정보 없이 식 (15)의 추정기법을 통해 얻은 3차원 표본 영 스펙트럼 $f_1(\Gamma^c, \tau^{\max})$

그러면, 제안된 TOA 추정기법에 따라 얻은 3차원 표본 영 스펙트럼을 그림 3에서 볼 수 있다. 그림 3을 보면, (9,3)[psec], (16,2)[psec], 그리고 (29, 4)[psec] 지점 부근에서 각각 세 개의 첨두 값들이 있음을 관찰할 수 있으며, 이 결과로부터 제안한 TOA 추정기법은 제안된 초광대역 신호 모형에 잘 동작함을 알 수 있다. 그림 3의 3차원 표본 영 스펙트럼을 상세히 관측하기 위해서 최대 퍼짐 변수 $\widehat{\tau^{\max}}$를 $\tau^{\max_1}$, $\tau^{\max_2}$, 그리고 $\tau^{\max_3}$로 각각 설정하여 그림 3의 3차원 스펙트럼의 횡단면을 보자. $\widehat{\tau^{\max}}=3$[psec]로 두면, 그림 4와 같은 표본 영 스펙트럼을 얻는데, (9, 3)[psec] 지점에 한 개의 최소값 만이 있다. 또한, $\widehat{\tau^{\max}}$를 2 [psec]로 하면, 그림 5와 같은 표본 영 스펙트럼을 얻는데, (16, 2)[psec] 부근에 또 다른 최소값을 가진다. 그림 6의 표본 영 스펙트럼은 $\widehat{\tau^{\max}}=4$[psec]조건에서 얻은 것이다.

어떤 경우에는 클러스터 개수를 알 수 없는데, 초광대역 송신기 또는 클러스터 개수 정보가 필요 없는 매개변수 추정 기법을 사용하여 TOA 매개변수 추정을 시도하였다. 식 (15)에서 제안한 추정 기법은 이전 연구[9]에서 제안한 일반화된 다중신호분류 기법을 변경한 방법에 근거하고 있다. 알 수 없는 초광대역 클러스터 개수 정보를 제외하고 그림 3의 모의실험 조건과 동일한 상황에서 클러스터 중심과 최대 퍼짐정도 매개변수의 추정치를 얻는 모의실험을 통해 3차원 표본 영 스펙트럼을 얻었다. 그래서, 그림 3과 유사한 결과인 그림 7의 3차원 표본 영 스펙트럼을 얻었는데, (9, 3)[psec], (16, 2)[psec], 그리고 (29, 4)[psec] 지점들 부근에서 각각 세 개의 첨두 값을 가진다. 그래서, 이 결과로부터 초광대역 클러스터 개수 정보 없이도 제안 기법이 성공적으로 수행됨을 알 수 있다. 그림 7의 결과를 좀 더 상세히 관측하려면, 앞에서 언급한 유사방법을 통해 상세한 관측을 할 수 있다.

V. 결 론

초광대역 실내 무선위치 인식을 위한 종래의 도착시간 매개변수 추정기법들은 클러스터 화 된 다중경로 신호들의 불규칙한 신호 도달 또는 신호 겹침 현상 등으로 TOA 매개변수 값을 결정하는데 많은 어려움을 가진다. 이런 어려움을 극복하고 불규칙한 신호 도달 및 신호 겹침 영향이 전혀 없는 TOA 추정을 하기 위해서 새로이 초광대역 신호 모형을 생각하여 제안하고, 새롭고 강인한 초광대역 실내 무선 위치인식을 위한 TOA 매개변수 추정 기법을 제안하였다.

미리, 가시거리와 비가시거리 환경을 포함된 실내 무선채널이 있는 초광대역 무선 위치인식 시스템을 구상하고, 초광대역 수신기에 불규칙하게 도달하는 신호에 대해 직접 추정대신 초광대역 클러스터 화 된 다중경로 성분들의 중심과 최대 퍼짐정도를 추정하였다. 종래관점의 TOA 값은 후에 간단한 계산을 통해 얻어진다. 제안된 기법은 초광대역 클러스터 신호 개수를 알거나 또는 모르는 경우, 각각 종래의 다중신호 분류 (MUSIC) 알고리즘이나 일반화 된 다중신호 분류 알고리즘을 확장 변경한 기법에 근거하였다.

모의실험을 통해, 제안된 초광대역 신호 모형과 강인한 TOA 추정기법 모두는 초광대역 수신기에서 클러스터 화 된 다중경로 신호들의 정확한 TOA 추정치를 얻을 수 있음을 관측하였다.

참 고 문 헌

[1] J. Caffery, Jr, Wireless Location in CDMA Cellular Radio Systems. Boston, MA; Kluwer, 2000.

[2] A.H. Sayed, A. Tarighat, and N. Khajehnouri, "Network-based Wireless Location," *IEEE Sig. Proc. Mag.*, Vol.22, pp.24-40, Jul., 2005.

[3] S. Gezici, Z. Tian, G.B. Giannakis, H. Kobayashi, A.F. Molish, H.V. Poor, and Z. Sahinoglu, "Localization via Ultra-wide band

Radios," *IEEE Sig. Proc. Mag.*, Vol.22, pp.70-84, Jul., 2005.

[4] C. Wann and S. Hsu, "Estimation and analysis of signal arrival time for UWB system," *Proc. IEEE VTC*, Vol.5, pp.3560-3564, Sept. 2004.

[5] C. Carbonelli and Urbashi Mitra, "Clustered channel estimation for UWB signals," *Proc. IEEE ICC*, pp.2432-2437, Paris, France, June, 2004.

[6] N. Czink, M. Herdin, H. Ozcelik, and E. Bonek, "Number of multipath clusters in indoor MIMO propagation environments," *Electronics Letter*, Vol.40, No.23, pp.11-12, Nov., 2004.

[7] X, Li and K. Pahlavan, "Super-resolution TOA estimation with diversity for indoor geolocation," *IEEE Tr. Wireless Comm.*, Vol.3, No.1, pp. 224-234, Jan., 2004.

[8] R.O. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameter estimation," *IEEE Tr. Ant. Prop.* vol. AP-34, pp. 276-280, Mar., 1986.

[9] J. Choi, I. Song, S. Kim, and Y.K. Jhee, "A generalized null-spectrum for direction of arrival estimation," *IEEE Tr. Sig. Process.*, Vol.42, pp.462-466, Feb., 1994.

이 용 업 (Yong Up Lee) 종신회원

1985년 2월 서울대학교 전자공학과 공학사
1987년 2월 한국 과학 기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
1996년 8월 한국 과학 기술원 전기 및 전자과 공학 박사
1987년 8월~1998년 1월 삼성 전자 통신연구소
1998년 3월~현재 한림대학교 전자공학과 교수
<관심분야> 무선통신, 무선위치인식 이론연구구현