



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0098553  
(43) 공개일자 2008년11월10일

- |  |  |
|--|--|
| <p>(51) Int. Cl.<br/><i>H04L 25/02</i> (2006.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2008-7024881(분할)</p> <p>(22) 출원일자 2008년10월10일<br/>심사청구일자 2008년10월10일</p> <p>(62) 원출원 특허 10-2007-7002973<br/>원출원일자 2007년02월07일<br/>심사청구일자 2007년02월07일<br/>번역문제출일자 2008년10월10일</p> <p>(86) 국제출원번호 PCT/US2005/025175<br/>국제출원일자 2005년07월15일</p> <p>(87) 국제공개번호 WO 2006/020036<br/>국제공개일자 2006년02월23일</p> <p>(30) 우선권주장<br/>60/588,599 2004년07월16일 미국(US)</p> | <p>(71) 출원인<br/><b>칼콤 인코포레이티드</b><br/>미국 캘리포니아 샌디에고 모어하우스<br/>드라이브5775 (우 92121-1714)</p> <p>(72) 발명자<br/><b>고로코프, 알렉세이</b><br/>미국 92130 캘리포니아 샌디에고 엘 카미노 릴<br/>12543</p> <p>(74) 대리인<br/><b>남상선</b></p> |
|--|--|

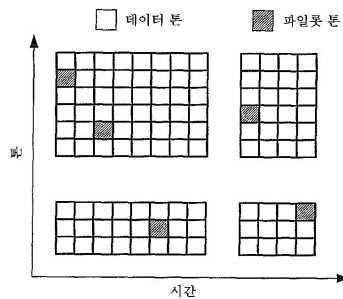
전체 청구항 수 : 총 26 항

(54) 칼만 필터를 사용하여 분산된 파일럿들을 가지는 채널 트래킹 방법 및 장치

(57) 요약

개시된 바에 따라, 무선 직교 주파수 분할 변조(OFDM)를 위해 채널을 추정하고 트래킹하는 시스템이 제시된다. 상기 시스템은 채널 조건들에 종속되는 분산된 파일럿 심볼들을 사용하며, 복수의 수신된 파일럿 심볼들을 사용하고 시간의 경과에 따른 채널 조건들의 상관에 따라서 채널 값을 추정한다. 칼만 필터는 채널을 트래킹하기 위해 사용된다.

대표도 - 도4



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

무선 직교 주파수 분할 변조(OFDM) 통신 시스템의 채널을 추정하고 트래킹하는 방법으로서,

적어도 하나의 전송 안테나를 통해 전송된 복수의 데이터 심볼들 사이에 분산된 복수의 파일럿 심볼들을 수신하는 단계 - 상기 복수의 파일럿 심볼들은 채널 조건들에 종속적이며, 상기 복수의 파일럿 심볼들은 시간 또는 OFDM 서브-캐리어 중 적어도 하나 사이에서 임의적으로 분산되어 있음 -; 및

상기 복수의 수신된 파일럿 심볼들을 사용하여 시간의 경과에 따른 상기 채널 조건들의 상관에 따라서 채널 값을 추정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 파일럿 심볼들은 실질적으로 랜덤한 시간-주파수 패턴으로 분포되는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 채널 값을 이용하여 순방향 스케줄링을 수행하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 파일럿 심볼들은 시간의 경과에 따라 복수의 서브-캐리어들 중에 균일하게 분포되는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 추정하는 단계는 반복적인 방식으로 상기 채널 값을 결정하기 위해 칼만(Kalman) 타입 필터를 사용하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 추정하는 단계는 행렬 역변환을 수행하지 않고 반복적인 방식으로 상기 채널 값을 결정하기 위해 칼만 타입 필터를 사용하는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 채널 값은 채널 민감성 시그널링의 측정을 나타내는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 채널 값은 상기 채널에 할당된 초기값에 의해 정의되는 것을 특징으로 하는 방법.

### 청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 파일럿 심볼들은 상기 무선 통신 시스템이 따르도록 구성된 전송 프로토콜의 일부로서 전송된 심볼들인 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 10**

제 9 항에 있어서,  
 상기 채널 추정 값은 상기 채널의 주파수 응답에 의해 추가적으로 정의되는 것을 특징으로 하는 방법.

**청구항 11**

무선 OFDM 통신을 위해 채널을 추정하고 트래킹하기 위한 장치로서,  
 적어도 하나의 전송 안테나를 통해 전송된 복수의 데이터 심볼들 사이에 임의적으로 분산된 복수의 파일럿 심볼들을 수신하도록 구성된 제 1 모듈 - 상기 복수의 파일럿 심볼들은 상기 채널에 따른 다양한 시간 지연들에 종속적으로 수신됨 -; 및  
 상기 복수의 수신된 파일럿 심볼들을 사용하여 시간의 경과에 따른 상기 시간 지연들의 반복적인 상관에 따라서 채널 값을 추정하고, 상기 채널 값을 이용하여 링크 스케줄링을 수행하도록 구성된 제 2 모듈을 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 12**

제 11 항에 있어서,  
 상기 장치에 대한 무선 통신 시스템은 OFDMA 통신 시스템인 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 13**

제 11 항에 있어서,  
 상기 복수의 파일럿 심볼들은 상이한 시간들에서 다양한 탭들에 종속적인 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 14**

제 11 항에 있어서,  
 상기 복수의 파일럿 심볼들은 적어도 하나의 변조 또는 인코딩에 의해 파일럿 심볼들로서 인식될 수 있는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 15**

제 11 항에 있어서,  
 상기 복수의 파일럿 심볼들은 특정한 OFDM 서브-캐리어를 통해 전송된 시간 또는 선택된 상기 OFDM 서브-캐리어 중 적어도 하나에서 랜덤하게 분산되는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 16**

제 11 항에 있어서,  
 상기 제 2 모듈은 반복적인 방식으로 상기 채널 값을 결정하기 위해 칼만 타입 필터를 사용하여 상기 채널 값을 추정하도록 추가적으로 구성되는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 17**

제 11 항에 있어서,  
 상기 채널 추정 값은 상기 채널에 할당된 초기값에 의해 정의되는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 18**

제 11 항에 있어서,  
 상기 장치는 적어도 두 개의 안테나들을 포함하며, 상기 제 2 모듈은 복수의 상기 적어도 두 개의 안테나들 각각에 대하여 개별적으로 채널 값을 추정하는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 19**

무선 OFDM 통신 시스템에 대한 채널을 추정하고 트래킹하기 위한 장치로서,

적어도 하나의 전송 안테나를 통해 전송된 복수의 데이터 심볼들 사이에 임의적으로 분산된 복수의 파일럿 심볼들을 수신하기 위한 수단 - 상기 복수의 파일럿 심볼들은 상기 채널에 따른 다양한 시간 지연들을 가지도록 수신됨 -; 및

상기 복수의 수신된 파일럿 심볼들을 사용하여 시간의 경과에 따른 상기 시간 지연들의 반복적인 상관에 따라서 채널 값을 추정하기 위한 수단을 포함하며,

상기 채널은 복수의 OFDM 서브-채널들을 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 20**

제 19 항에 있어서,

상기 추정하기 위한 수단은 반복적인 방식으로 상기 채널 값을 결정하기 위해 칼만 타입 필터를 사용하는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 21**

제 19 항에 있어서,

상기 복수의 파일럿 심볼들은 시간 또는 OFDM 서브-캐리어 중 적어도 하나에서 임의적으로 분산되는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 22**

제 19 항에 있어서,

상기 채널 값을 이용하여 링크 스케줄링하기 위한 수단을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 23**

제 19 항에 있어서,

상기 채널 추정 값은 상기 채널에 할당된 초기값에 의해 정의되는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 24**

제 19 항에 있어서,

상기 채널 추정 값은 상기 채널의 주파수 응답에 의해 추가적으로 정의되는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 25**

제 19 항에 있어서,

상기 장치는 적어도 두 개의 안테나들을 포함하며, 상기 채널 값을 추정하기 위한 수단은 복수의 상기 적어도 두 개의 안테나들 각각에 대하여 개별적으로 채널 값을 추정하기 위한 수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

**청구항 26**

무선 직교 주파수 분할 변조(OFDM) 통신 시스템의 채널을 추정하고 트래킹하기 위한 명령들로 인코딩된 기계-판독가능 매체로서, 상기 명령들은,

적어도 하나의 전송 안테나를 통해 전송된 복수의 데이터 심볼들 사이에 분산된 복수의 파일럿 심볼들을 수신하기 위한 코드 - 상기 복수의 파일럿 심볼들은 채널 조건들에 종속적이며, 상기 복수의 파일럿 심볼들은 시간 또는 OFDM 서브-캐리어 중 적어도 하나 사이에서 임의적으로 분산되어 있음 -; 및

상기 복수의 수신된 파일럿 심볼들을 사용하여 시간의 경과에 따른 상기 채널 조건들의 상관에 따라서 채널 값

을 추정하기 위한 코드를 포함하는 것을 특징으로 하는 기계-판독가능 매체.

**명세서**

**발명의 상세한 설명**

**기술분야**

- <1> 본 출원은 출원번호가 60/588,599이고 출원일이 2004년 7월 16일이고 발명의 명칭이 "Channel Tracking with Scattered Pilots"이며, 여기에 참조로서 통합된 미국 특허 가출원에 대하여 35 U. S. C. 119(e)에 근거하여 우선권을 주장한다.
- <2> 본 발명은 무선 디지털 통신 시스템들에 관한 것이며, 이러한 시스템들에서 채널 특성들 및 간섭 레벨을 추정하는 것에 관한 것이다.

**배경기술**

- <3> 무선 디지털 통신과 데이터 프로세싱 시스템에 대한 요구가 증가하고 있다. 데이터를 포함하는 프레임들, 패킷들 또는 셀들을 전달할 때, 대부분의 디지털 통신 채널들에서 고유한 에러들이 발생한다. 이러한 에러들은 종종 전기적 간섭 또는 열잡음에 의해 야기된다. 데이터 전송 에러 레이트들은 부분적으로 데이터를 전달하는 매체에 의해 좌우된다. 구리 기반 데이터 전송 시스템들에 대한 전형적인 비트 에러 레이트들은  $10^{-6}$ 의 차수로 존재한다. 광섬유들은  $10^{-9}$  또는 더 적은 전형적인 비트 에러 레이트들을 가진다. 반면에, 무선 통신 시스템들은  $10^{-3}$  또는 더 큰 에러 레이트들을 가질 수 있다. 무선 통신 시스템들의 상대적으로 높은 비트 에러 레이트들은 이러한 시스템들을 통해 전송되는 데이터의 인코딩 및 디코딩에 있어서 몇몇 어려움들을 야기한다. 추가적인 백색 가우시안 잡음(AWGN) 모델은 부분적으로 자신의 수학적 용이성(tractability)에 기인하고 부분적으로 폭넓은 종류의 물리적 통신 채널들에 대한 자신의 응용성에 기인하여 대부분의 통신 채널들에 있는 잡음을 특성화하기 위해 자주 사용된다.
- <4> 데이터는 리던던시(redundancy)를 포함하도록 제어된 방식으로 종종 전송기에서 인코딩된다. 이러한 리던던시는 그 후에 데이터가 채널을 통해 전송되는 동안 데이터에서 발생하는 잡음 및 간섭을 극복하기 위해 수신기에 의해 사용된다. 예를 들어, 전송기는 몇몇 코딩 방식에 따라 k 비트들을 n 비트들로 인코딩할 수 있으며, 여기서 n은 k보다 크다. 데이터의 인코딩에 의해 제공되는 리던던시의 양은 n/k의 비율에 의해 결정되며, n/k 비율의 역수는 코드 레이트로 지칭된다. n-비트 시퀀스들을 나타내는 코드워드들은 인코더에 의해 생성되고 통신 채널과 인터페이싱하는 변조기로 전달된다. 변조기는 각각의 수신된 시퀀스를 심볼로 매핑한다. M진(M-ary) 시그널링에서, 변조기는 각각의 n-비트 시퀀스를 M=2<sup>n</sup> 심볼들 중 하나로 매핑한다. 이진 형태가 아닌 데이터가 인코딩될 수 있으나, 전형적으로 데이터는 이진수 시퀀스에 의해 표현될 수 있다. 채널 등화 및 채널-민감성 시그널링과 같은 동작들을 수행하기 위해, 채널을 추정하고 트래킹하는 것이 요구된다.
- <5> 직교 주파수 분할 변조(OFDM)는 시간-주파수 동기화에 민감하다. 파일럿 톤들의 사용은 채널 추정이 전송 경로들을 특성화하도록 허용한다. 전송기들과 수신기들이 동기화되도록 유지하는 것은 전송의 에러 레이트들을 줄이게 된다.

**발명의 내용**

- <6> 일 실시예에서, 본 발명은 무선 직교 주파수 분할 변조(OFDM) 통신을 위한 채널을 추정하고 트래킹하도록 구성된 시스템을 제공한다. 상기 시스템은 제 1 및 제 2 모듈들을 포함한다. 제 1 모듈은 적어도 하나의 전송 안테나를 통해 전송된 복수의 데이터 심볼들 사이에서 임의적으로 분산된 다수의 파일럿 심볼들을 수신하도록 구성된다. 다수의 파일럿 심볼들은 채널의 지연 및 다중경로 효과들을 표시하는 다수의 탭들을 통해 수신된다. 제 2 모듈은 다수의 수신된 파일럿 심볼들을 사용하여 그리고 시간 경과에 따른 채널 탭들의 반복적인 상관에 따라서 채널값을 추정하도록 구성된다. 제 2 모듈은 채널값을 이용하여 링크 스케줄링을 수행한다.
- <7> 다른 실시예에서, 본 발명은 무선 OFDM 통신 시스템의 채널을 추정하고 트래킹하는 방법을 제공한다. 일 단계에서, 적어도 하나의 전송 안테나를 통해 전송된 데이터 심볼들 사이에 분산되어 있는 파일럿 심볼들이 수신된다. 파일럿 심볼들은 채널의 지연 및 다중경로 효과들을 표시하는 다수의 탭들을 통해 수신된다. 파일럿 심볼들은 적어도 하나의 시간 또는 OFDM 서브-캐리어 중에 임의적으로 분산된다. 채널값은 다수의 수신된 파일럿

심볼들을 사용하여 그리고 시간 경과에 따른 채널 탭들의 상관에 따라서 추정된다.

- <8> 또다른 실시예에서, 본 발명은 무선 OFDM 통신 시스템을 위한 채널을 추정하고 트래킹하도록 구성된 시스템을 제공한다. 상기 시스템은 수신 수단 및 추정 수단을 포함한다. 수신 수단은 적어도 하나의 전송 안테나를 통해 전송된 복수의 데이터 심볼들 사이에서 임의적으로 분산된 다수의 파일럿 심볼들을 수신한다. 파일럿 심볼들은 채널의 지연 및 다중경로 효과들을 표시하는 탭들을 통해 수신된다. 추정 수단은 다수의 수신된 파일럿 심볼들을 사용하여 그리고 시간 경과에 따른 채널 탭들의 반복적인 상관에 따라서 채널값을 추정한다. 채널은 다수의 OFDM 서브-채널들을 포함한다.
- <9> 본 발명을 적용할 수 있는 추가적인 영역들은 이후에 제시되는 상세한 설명으로부터 명백할 것이다. 본 발명에 대한 다양한 실시예들을 제공하는 상세한 설명 및 특정한 예들은 단지 설명하기 위한 목적으로 제시되는 것이며 본 발명의 범위를 반드시 한정하기 위한 것은 아니다.

**발명의 실시를 위한 구체적인 내용**

- <10> 다음의 설명은 바람직한 예시적인 실시예(들)만을 제시하며, 본 발명의 범위, 적용성 또는 구성을 제한하기 위한 것이 아니다. 오히려, 바람직한 예시적인 실시예(들)에 대한 다음의 설명은 당업자에게 본 발명의 바람직한 예시적인 실시예를 구현하기 위한 설명을 제공할 것이다. 첨부된 청구항들에 기재된 발명의 범위를 벗어남이 없이 엘리먼트들의 기능 및 배치에 대한 다양한 변형들이 이루어질 수 있음을 이해해야 할 것이다.
- <11> 이러한 실시예들에 대한 철저한 이해를 제공하기 위해 다음의 설명에서 구체적인 세부 사항들이 제시된다. 그러나, 당업자는 이러한 실시예들이 이러한 구체적인 세부사항들 없이도 실시될 수 있다는 것을 이해할 것이다. 예를 들어, 불필요한 세부사항들로 실시예들을 불명확하게 만들지 않도록 회로들은 블록 다이어그램들로 도시될 수 있다. 다른 예들로서, 공지된 회로들, 프로세스들, 알고리즘들, 구조들 및 기법들은 실시예들을 불명확하게 하는 것을 피하기 위해 불필요한 세부사항들에 대한 기재없이 제시될 것이다.
- <12> 또한, 이러한 실시예들은 플로우차트, 플로우 다이어그램, 데이터 플로우 다이어그램, 구조 다이어그램 또는 블록 다이어그램으로 제시되는 프로세스로서 설명될 수 있다. 플로우차트가 순차적인 프로세스로서 동작들을 설명하더라도, 많은 동작들은 병렬적으로 또는 동시에 수행될 수 있다. 또한, 동작들의 순서는 재-배열될 수 있다. 프로세스의 동작들이 완료되면 프로세스가 종료되지만, 도면에 포함되지 않은 추가적인 단계들을 포함할 수 있다. 프로세스는 방법, 기능, 절차, 서브루틴, 서브프로그램 등에 대응할 수 있다. 프로세스가 기능에 대응하면, 프로세스의 종료는 호출 기능 또는 주요 기능에 대한 기능의 리턴에 대응한다.
- <13> 또한, 실시예들은 하드웨어, 소프트웨어, 펌웨어, 미들웨어, 마이크로코드, 하드웨어 서술 언어들 또는 이들의 임의의 조합에 의해 구현될 수 있다. 소프트웨어, 펌웨어, 미들웨어 또는 마이크로코드로 구현되는 경우에, 필요한 작업들을 수행하기 위한 프로그램 코드 또는 코드 세그먼트들은 저장 매체와 같은 기계 판독가능한 매체에 저장될 수 있다. 프로세서(들)은 필요한 작업들을 수행할 수 있다. 코드 세그먼트 또는 컴퓨터-실행가능한 명령들은 절차, 기능, 서브프로그램, 프로그램, 루틴, 서브루틴, 모듈, 소프트웨어 패키지, 클래스, 명령들의 임의의 조합, 데이터 구조들 또는 프로그램 명령문들을 나타낼 수 있다. 코드 세그먼트는 정보, 데이터, 인수들, 파라미터들 또는 메모리 콘텐츠를 전달 및/또는 수신함으로써 다른 코드 세그먼트 또는 하드웨어 회로에 결합될 수 있다. 정보, 인수들, 파라미터들, 데이터 등은 메모리 공유, 메시지 전달, 토큰 전달, 네트워크 전송 등을 포함하는 임의의 적절한 수단을 통해 전달되고, 포워딩되고 또는 전송될 수 있다.
- <14> 다중-캐리어 시스템에서 시간-가변 주파수-선택성 채널의 추정 및 트래킹은 임의적이고, 랜덤하고, 의사-랜덤하고 그리고/또는 실질적으로 랜덤한 시간-주파수 패턴으로 분산된 파일럿 톤들을 사용하는 알고리즘에 따라서 수행된다. 파일럿 톤들은 이들이 전송되었던 시간이 결정될 수 있는 알려진 변조 및 코딩 방식을 가진다. 상기 알고리즘은 파일럿 심볼들의 수신된 값들과 함께 채널의 이전 추정을 이용하여 임의의 시간 인스턴스에서 채널값을 순환적으로 추정하는 선형 모델에 기반한다. 상기 채널값은 예컨대 채널 품질 표시자(CQI), 신호-대-잡음비, 신호 강도 또는 공간-선택성 채널 조건들을 포함하는 채널 민감성 시그널링의 임의의 다른 측정과 같은 채널의 표시자이다. 상기 알고리즘은 채널 로딩, 파일럿 심볼들 대 수신된 잡음 레벨의 비율 및 채널 추정 에러의 공분산 행렬을 나타내는 다수의 파라미터들을 사용한다. 상기 알고리즘은 수정된 파라미터 값들과 채널 추정이 미리 정의된 조건들을 충족하도록 수렴할 때까지 이러한 파라미터 값들과 채널 추정을 수정한다. 상기 채널값은 일 실시예에서 링크 스케줄링을 위해 이용된다.
- <15> 파일럿 톤들은 자신들을 파일럿 톤들로 인식하기 위해 수신기들이 반드시 파일럿 톤들이 언제 전송되는지를 알아야 할 필요가 없는 알려진 변조 및 코딩 방식을 가진다. 수신기들은 자신들이 전송기로부터의 가변하는 전파

지연 및 다중 경로 효과들을 가지는 탭들로서 동작하도록 무선 공간을 통해 지리적으로 분산된다. 채널 추정 은 파일럿 톤들에 대한 탭들의 분석에 기반하여 반복적으로 결정될 수 있다. 채널 추정은 일 실시예에서 링크 스케줄링을 위해 이용될 수 있다.

- <16> 본 발명의 일 실시예에서, 다중-캐리어 시스템에서 시간-가변 주파수-선택성 채널의 추정 및 트래킹은 임의적인 시간-주파수 패턴을 가지는 분산된 파일럿 톤들을 사용하여 수행된다. 이러한 채널 추정은 채널의 언바이어스된( unbiased) 추정이며, 또한 채널의 실제값과 추정된 값 사이의 차이로 정의되는 추정 에러의 공분산 행렬은 최소 분산을 가진다. 그러나, 이러한 추정들에서 비실질적인 변동들이 존재할 수 있다는 것을 이해하도록 한다.
- <17> 채널을 추정하고 트래킹하기 위해, 선형 모델이 제시되며, 이러한 모델에 따라 임의의 시간 인스턴스에서 파일럿 심볼들의 수신된 값들과 함께 채널의 이전 추정은 채널에 대한 새로운 값을 추정하기 위해 사용된다. 파일럿 심볼들은 무선 통신 시스템이 따르도록 구성된 전송 프로토콜의 일부일 수 있으며, 그리하여 예컨대 신호 필드의 일부일 수 있다. 대안적으로, 파일럿 심볼들은 채널을 추정하기 위한 목적으로 데이터 심볼들 사이에 삽입된 잔여 심볼들일 수 있다.
- <18> 일 실시예에서, 시스템은 OFDMA 시스템일 수 있으며, 채널에 할당된 초기값은 0 값을 가질 수 있다. 추정/트래킹 알고리즘은, 부분적으로, 채널 로딩을 나타내며 수신된 파일럿 심볼들의 기여분(contribution)을 채널의 이전 추정과 균형을 맞추도록 적용되는 제 1 파라미터, 파일럿 심볼들과 수신된 잡음과의 비율을 나타내는 제 2 파라미터뿐만 아니라 추정 에러의 공분산 행렬에 대한 추적(trace) 연산을 수행함으로써 획득되는 제 3 파라미터를 사용한다.
- <19> 본 발명의 알고리즘에 따라서, 제 1 파라미터 값 및 채널은 새로운 추정 값들에 도달하기 위해 순환적으로 업데이트된다. 제 3 파라미터 값은 또한 제 1 파라미터의 수정된 값을 반영하도록 업데이트된다. 이러한 수정들은 제 1 파라미터, 채널 추정 및 제 3 파라미터가 미리 정의된 조건들을 충족하기 위해 수렴할 때까지 순환적으로 계속된다.
- <20> 채널 추정/트래킹의 기초가 되는 알고리즘은 채널의 시간-도메인 응답의 유한적인 지원을 가정하며 채널 변화들의 알려진 도플러 스펙트럼과 관련된 채널 응답의 시간-도메인 상관 또는 근사치를 이용한다. 상기 알고리즘은 또한 사용되는 파일럿 심볼들의 제한된 개수에 기인하여 채널 추정/트래킹의 초기 국면에서 발생하는 특이성(singularity)들을 설명한다. 상기 알고리즘은 OFDMA 역방향 링크의 제어 채널들을 통해 이용가능한 제한된 개수의 파일럿 심볼들을 통해 채널 상태 정보에 대한 최선-노력(best-effort) 추정을 제공한다. 상기 알고리즘은 순방향 링크 빔 형성과 같은 채널 민감성 스케줄링 또는 주파수 민감성 스케줄링을 위해 사용될 수 있다.
- <21> 본 발명에 따르면, 다중-캐리어 시스템에서 시간-가변 주파수-민감성 채널의 추정 및 트래킹은 임의의 시간-주파수 패턴을 가지는 분산된 파일럿 톤들을 사용하여 수행된다. 분산된 파일럿들은 시간 경과에 따라 상이한 톤들에서 나타나며 대역을 통해 실질적으로 분산되어 있다. 채널 추정은 실질적으로 언바이어스된 추정이다. 또한, 채널의 실제값과 추정된 값 사이의 차이로 정의되는 추정 에러의 공분산 행렬은 실질적으로 최소 분산을 가진다.
- <22> 위에서 설명된 알고리즘들과 방법들은 각각의 안테나 기반으로 수행될 수 있다. 이에 따라, 채널은 각각의 안테나에 대하여 추정될 수 있다. 이러한 추정들은 채널의 공간 시그니처(signature) 또는 공간-시간 시그니처를 획득하기 위해 사용될 수 있다. 상기 추정들은 그 다음에 빔 형성, 빔 스티어링(steering) 또는 다른 공간 기능을 제공하기 위해 사용될 수 있다.
- <23> 채널 추정/트래킹의 기초가 되는 알고리즘은 채널의 시간-도메인 응답의 유한적인 지원을 가정하며 채널 변화들의 알려진 도플러 스펙트럼과 관련된 채널 응답의 시간-도메인 상관 또는 근사치를 이용한다. 상기 알고리즘은 또한 사용되는 파일럿 심볼들의 제한된 개수에 기인하여 채널 추정/트래킹의 초기 국면에서 발생하는 특이성들을 설명한다. 상기 알고리즘은 OFDMA 역방향 링크의 제어 채널들을 통해 이용가능한 제한된 개수의 파일럿 심볼들을 통해 채널 상태 정보에 대한 최선-노력 추정을 제공한다. 상기 알고리즘은 순방향 링크 빔 형성과 같은 채널 민감성 스케줄링 또는 주파수 민감성 스케줄링을 위해 사용될 수 있다.
- <24> 도 1은 표시된 바와 같이 전송기들/수신기들(12, 14)과 전송기들/수신기들(16, 18) 간의 통신을 위해 사용되는 무선 네트워크(10)의 일례를 나타낸다. 전송기들/수신기들(12, 14, 16, 18) 각각은 하나 또는 다수의 전송/수신 안테나들(미도시)을 가질 수 있다. 개별적인 전송 및 수신 안테나들이 도시되어 있음에도 불구하고, 안테나들은 신호들의 전송 및 수신 모두를 위해 사용될 수 있다. 신호들의 전송되는 채널을 형성하는 자유 공간 매체

는 종종 잡음이 존재하여 수신된 신호에 영향을 미친다. 잡음에 기인한 전송 채널의 특성들 및 간섭 레벨의 추정들은 종종 탭들을 나타내는 수신기에서 이루어진다. 무선 공간에 있는 지리적 위치는 탭들에 대한 지연들이 달라지도록 한다.

<25> 도 2는 무선 전송 시스템(100)의 전송 엔드의 일례에 대한 단순화된 블록 다이어그램이다. 무선 전송 시스템은, 부분적으로, 인코더(110), 공간-주파수 인터리버(120), 변조기들(130, 160), OFDM 블록들(140, 170) 및 전송 안테나들(150, 180)을 포함하도록 도시되어 있다. 변조기(130), OFDM 블록(140) 및 전송 안테나(150)는 제 1 전송 경로(115)에 배치되고; 변조기(160), OFDM 블록(170) 및 전송 안테나(180)는 제 2 전송 경로(125)에 배치된다. 무선 전송 시스템의 예시적인 실시예(100)가 오직 두 개의 전송 경로들을 포함하도록 도시되어 있더라도, 무선 전송 시스템(100)은 두 개 이상의 전송 경로들을 포함할 수 있다는 것을 이해하도록 한다. 전송 안테나들(150, 180)에 의해 전송된 데이터는 무선 수신 시스템의 하나 이상의 수신 안테나들에 의해 수신된다. 예를 들어, 파일럿 심볼들과 데이터 심볼들은 OFDM 채널의 다양한 서브-캐리어들을 통해 전송된다.

<26> 도 3은 무선 수신 시스템(P200)의 수신 엔드의 일례에 대한 단순화된 블록 다이어그램이다. 무선 수신 시스템(200)은, 부분적으로, 수신 안테나들(205, 255), 프론트-엔드 블록들(210, 260), 복조기들(215, 265), 공간-주파수 디인터리버들(220, 270) 및 디코더들(225, 285)을 포함하도록 도시되어 있다. 무선 수신 시스템(200)은 한 쌍의 수신 전송 경로들을 포함하도록 도시되어 있으나, 무선 수신 시스템(200)은 둘 이상의 전송 경로들을 포함할 수 있다는 것을 이해하도록 한다. 파일럿 심볼들 및 데이터 심볼들은 무선 수신 시스템(200)에 의해 수신된다. 각각의 전송 경로는 특정한 서브-캐리어와 관련된다. 시간 경과에 따라 반복적으로 파일럿 심볼들을 분석하는 것은 채널을 특성화하도록 허용한다.

<27> 또한, 추정들은 예컨대 안테나(205 및 255)에서의 수신을 위한 개별적인 추정과 같이 각각의 수신 체인에 대하여 반복적으로 수행될 수 있다. 이것은 채널이 전송기 및 수신기 사이에서 각각의 공간 채널에 대하여 추정되도록 허용한다. 추정들은 각각의 안테나에 대한 상이한 채널들로부터 채널의 공간 시그너처 또는 공간-시간 시그너처를 획득하기 위해 이용, 예컨대 결합될 수 있다. 추정들은 그 다음에 빔 형성, 빔 스티어링 또는 다른 공간 기능을 제공하기 위해 이용될 수 있다.

<28>  $f_s$ 의 간격으로 배치된 N개의 직교 톤들을 가지는 OFDM 또는 OFDMA 전송을 가정한다. 또한, 전송기는 도 4에 도시된 바와 같이 수신기에 알려진 특정한 시간 주파수 패턴으로 파일럿 심볼들을 전송한다고 가정한다. 그 다음에, 시간-주파수 패턴에 있는 상이한 파일럿 톤들의 총수 N은 채널의 탭들의 개수 L과 동일하거나 더 크다고, 즉,  $N \geq L$ 이라고 가정한다. 이러한 파일럿 패턴은 L개까지의 탭들을 가지고 기저대역 채널 응답 추정을 가능하게 한다. 다음의 분석에서, 초과 지연의 효과는 무시할 수 있다고 가정한다. 또한, OFDMA 심볼 간격  $T_s = 1/f_s$  동안의 채널 변화들은 무시할 수 있으며, 잡음은 AWGN으로 가정한다. 채널  $\mathbf{h}_k$ 는 다음과 같은 식에 의해 표현될 수 있다:

<29> 
$$\mathbf{h}_k = [\mathbf{h}_k[0], \mathbf{h}_k[l_1], \dots, \mathbf{h}_k[l_{L-1}]]^T$$

<30> 채널  $\mathbf{h}_k$ 는 그리하여 임의의 주어진 시간 인스턴스  $t_k$ 에 대하여 상대적인 지연들  $l_1, \dots, l_{L-1}$ 을 가지는 채널 탭들의  $L \times 1$  벡터이다. 시간 인스턴스는 채널 업데이트 단계, 하나의 OFDMA 심볼 간격, 슬롯 또는 프레임 간격 등을 나타낼 수 있다. 또한, 채널은 아래의 수학적 식 (1)에서 보여지는 바와 같이, 스칼라 복소 가우시안 1차 채널 프로세스를 가지는 시간-가변 채널이라고 가정한다:

**수학적 식 1**

<31> 
$$\mathbf{h}_k = r_k \mathbf{h}_{k-1} + \sqrt{1-r_k^2} \boldsymbol{\xi}_k, \quad \boldsymbol{\xi}_k \sim N_c(\mathbf{0}, \mathbf{I}_L)$$

<32> 수학적 식 (1)에서,  $N_c(\bullet, \bullet)$ 는 각각 자신의 평균 및 공분산 행렬에 의해 특징되는 복소 순환 가우시안 벡터를 나타내며,  $\mathbf{I}_L$ 는  $(L \times L)$  단위 행렬이다. 또한, 상기 프로세스는  $r_k = r(t_k - t_{k-1})$ 로 정의되는  $r_k$ 가 채널 변화 모델, 예를 들어, 자신의 도플러 스펙트럼으로부터 획득될 수 있도록 트래킹 간격 동안 정적(stationary)이다.  $r_k$ 는 알려져 있다고 가정한다.

<33> 단계 k에서 수신된 신호  $x_k$ 는 그리하여 다음과 같은 수학적 식 (2)에 의해 정의될 수 있다:

수학식 2

<34> 
$$\mathbf{x}_k = \rho H[m_k] + \eta_k, \quad \eta_k \sim N_c(0, 1)$$

<35> 여기서,  $\rho^2 = (E_p/N_0)$  는 파일럿-대-잡음비를 나타내고,  $H[m_k]$ 는 인덱스  $m_k$ 를 가지는 파일럿 톤에 대응하는 채널 주파수 응답을 나타내고(여기서,  $0 \leq m_k < N$ ),  $\eta_k$ 는 관측 잡음을 나타낸다. 채널 주파수 응답은 다음과 같이 다시 표현될 수 있다:

수학식 3

<36> 
$$H[m_k] = \mathbf{w}_k^H \mathbf{h}_k$$

<37> 
$$\mathbf{w}_k = \mathbf{w}(r_{m_k})$$

<38> 
$$\mathbf{w}(r_{m_k}) = [1, e^{i2\pi f_c r_{m_k}}, e^{i2\pi f_c r_{m_k}^2}, \dots, e^{i2\pi f_c r_{m_k}^{L-1}}]^T$$

<39> 여기서,  $\mathbf{w}_k$ 는 인덱스  $m_k$ 를 가지는 파일럿 톤의 방향을 나타낸다.

<40> 위에서, 단계당 하나의 톤이 존재한다고 가정하면, 그리하여 채널 추정이 단계당 오직 하나의 파일럿 관측을 통해 업데이트될 수 있고, 이는 채널 추정/트래킹의 복잡도를 줄이게 된다. 그러나, 다수의 톤들이 한번에 관측되면, 동일한 시간 인스턴스  $t$ (예를 들어,  $t_k = t_{k-1} = \dots$ )에 대응하는 다수의 단계들이 존재할 수 있다는 것을 이해하도록 한다. 단계  $k$ 에서의 채널 추정  $\hat{\mathbf{h}}_k$ 는 다음의 식에 의해 정의된다:

<41> 
$$\hat{\mathbf{h}}_k = [\hat{\mathbf{h}}_k[0], \hat{\mathbf{h}}_k[1], \dots, \hat{\mathbf{h}}_k[L-1]]^T$$

<42> 채널은 가우시안이라고 가정하였기 때문에, 채널 추정  $\hat{\mathbf{h}}_k$ 도 또한 가우시안이다. 본 알고리즘에 따라, 채널 추정기는 언바이어스되고 최소 분산을 가진다. 대부분의 일반적인 경우에, 이것은  $\hat{\mathbf{h}}_k$ 의 기대값이 단계  $k$ 를 통해 추정/트래킹에서 사용되는 파일럿 톤들의 방향들  $\mathbf{w}_k$ 로 확대된 서브공간 상에서 실제 채널  $\mathbf{h}_k$ 의 사영(projection)과 일치될 수 있도록 한다. 시작 단계에서, 이러한 조건은 이용가능한 채널 정보가 없는 서브공간에서 잡음이 생기지 않도록 보장한다. 정상(steady) 상태에서, 현재/과거 파일럿들이 전체  $L$ -차 공간으로 확대되면, 이러한 조건은 다음과 같은 식을 제공한다:

<43> 
$$E\{\hat{\mathbf{h}}_k\} = \mathbf{h}_k$$

<44> 이에 따라, 채널 추정은 아래와 같이 정의될 수 있다:

수학식 4

<45> 
$$\hat{\mathbf{h}}_k \square N_c(\mathbf{P}_k \mathbf{h}_k, \mathbf{Q}_k)$$

<46> 여기서,  $\mathbf{P}_k$ 는 아래에서 보여지는 바와 같은, 이용가능한 파일럿 방향들로 확대된 서브공간을 통한 사영이다:

<47> 
$$\text{span}\{\mathbf{P}_k\} = \text{span}\{\mathbf{w}_{1,K}, \mathbf{w}_k\}$$

<48>  $\mathbf{Q}_k$ 는 추정 에러  $\mathbf{e}_k = (\hat{\mathbf{h}}_k - \mathbf{P}_k \mathbf{h}_k)$ 의 공분산 행렬이다.

<49>  $\hat{\mathbf{h}}_k$ 에 대응하고 데이터 톤들  $m \in \Omega_D$ 에서 평가된 채널 응답  $H[m]$ 의 추정의 분산은  $\hat{\mathbf{H}}_k[m]$ 으로 아래에 표현되고, 본 알고리즘은  $\hat{\mathbf{H}}_k[m]$ 의 평균 분산을 최소화하도록 시도한다. 다음의 수학식 (5)는 다중캐리어 시스템에 적용된다:

수학식 5

$$|\Omega_D|^{-1} \sum_{m \in \Omega_D} |\hat{H}_k[m] - H[m]|^2 \xrightarrow{N_D \rightarrow \infty} \text{Tr}\{\mathbf{Q}_k\}$$

<50>

<51>

수학식 (5)의 정확한 등식은 데이터 톤들의 세트  $\Omega_D$ 가 톤들의 전체 세트  $\Omega_T = \{1, \dots, N\}$ 와 일치하는 경우에 성립한다. 수학식 (5)의 점근적 등가물은 데이터 톤들이 전체 스펙트럼을 통해 균일하게 분포된 경우에 성립한다. 시간-주파수 파일럿 패턴의 적절한 설계와 함께 넓은 의미의 정적 채널 프로세스를 가정하면, 추정/트래킹은 스케일링된 항등원(identity)과 동일한 정상 단계 공분산 행렬  $\mathbf{Q}_k$ 를 제공하며, 그리하여 정상 단계에서 가장 열악한 경우의 분산이 최소화되도록 보장한다.

<52>

$\mathbf{h}_k$ 의 선형 추정  $\hat{\mathbf{h}}_k$ 는 파일럿 관측  $x_k$ 뿐만 아니라 이전 단계에서 획득된 추정  $\hat{\mathbf{h}}_{k-1}$ 을 결합하며, 아래와 같이 수학식 (6)으로 정의된다

수학식 6

$$\hat{\mathbf{h}}_k = \mathbf{A}_k \mathbf{w}_k x_k + r_k \mathbf{B}_k \hat{\mathbf{h}}_{k-1}$$

<53>

<54>

수학식들 (1)-(4)를 이용하여, 선형 추정  $\hat{\mathbf{h}}_k$ 는 아래와 같이 표현될 수 있다:

수학식 7

$$\hat{\mathbf{h}}_k = (\underbrace{\rho \mathbf{A}_k \mathbf{w}_k \mathbf{w}_k^H + \mathbf{B}_k \mathbf{P}_{k-1}}_{\text{mean value}}) \mathbf{h}_k + \underbrace{\left( \mathbf{A}_k \mathbf{w}_k \eta_k + r_k \mathbf{B}_k \Delta \mathbf{h}_k - \sqrt{1 - r_k^2} \mathbf{B}_k \mathbf{P}_{k-1} \xi_k \right)}_{\text{error}}$$

<55>

<56>

선형 추정 (7)은 평균 및 에러 값들을 나타내는 식들을 포함하도록 도시되어 있다. 일반성을 잃지 않고  $\mathbf{A}_k$ 는 풀 랭크(full rank)라고 가정한다. 이에 따라  $\mathbf{A}_k$ 는 또한 다음과 같이 정의될 수 있다:

수학식 8

$$\mathbf{A}_k = \left( \rho \mathbf{w}_k \mathbf{w}_k^H + \mathbf{A}_k^{-1} \mathbf{B}_k \mathbf{P}_{k-1} \right)^\#$$

<57>

<58>

여기서,  $(\bullet)^\#$ 는 무어-펜로즈(Moore-Penrose) 의사 역 연산자를 표시한다. 추정 알고리즘을 보다 단순화하기 위해, 선형 추정자들의 클래스는 아래와 같이 정의된다고 가정한다:

수학식 9

$$\mathbf{B}_k = \gamma_k \mathbf{A}_k$$

<59>

<60>

여기서, 로딩 파라미터  $\gamma_k$ 는 이전 채널 추정  $\hat{\mathbf{h}}_{k-1}$ 에 의한 기여분과 현재 파일럿에 의한 기여분의 균형을 맞추는 넌-네거티브(non-negative) 스칼라이다. 이러한 단순화는 계산 복잡성을 피하도록 한다. 선형 추정량  $\hat{\mathbf{h}}_k$ 는 그리하여 아래와 같이 표현될 수 있다:

수학식 10

$$\hat{\mathbf{h}}_k = \left( \rho \mathbf{w}_k \mathbf{w}_k^H + \gamma_k \mathbf{P}_{k-1} \right)^\# \left( \mathbf{w}_k x_k + \gamma_k r_k \hat{\mathbf{h}}_{k-1} \right)$$

<61>

<62>

$\gamma_k$ 와  $\text{Tr}\{\mathbf{Q}_k\}$ 에 의해 측정된 결과적인 추정 정확성에 대한 업데이트 규칙은 아래에서 설명되며, 여기서  $\mathbf{Q}_k$ 는

수학식 (7)에 있는 에러항의 공분산 행렬이고,  $\text{Tr}$ 은 추적 연산자이다. 수학식 (1), (2), (4), (7), (9) 및 (10)을 이용하여, 다음과 같은 순환이 획득된다:

**수학식 11**

<63> 
$$\mathbf{Q}_k = \mathbf{A}_k \left( \mathbf{w}_k \mathbf{w}_k^H + \gamma_k^2 r_k^2 \mathbf{Q}_{k-1} + \gamma_k^2 (1 - r_k^2) \mathbf{P}_{k-1} \right) \mathbf{A}_k$$

**수학식 12**

<64> 
$$\mathbf{A}_k = \left( \rho \mathbf{w}_k \mathbf{w}_k^H + \gamma_k \mathbf{P}_{k-1} \right)^{\#}$$

<65> 시작 단계 동안에  $\gamma_k$ 에 대한 값을 결정하기 위해, 수학식 (11)에서  $\mathbf{P}_{k-1} < \mathbf{I}_L$ 이라고 가정한다. 또한, 시작 단계에서, 모든 파일럿 톤은 채널 추정에 대한 새로운 방향에 기여하며; 이는 다음과 같은 조건을 요구한다:

<66> 
$$m_k \notin \{m_1, \dots, m_{k-1}\}$$

<67> 
$$\text{span}\{\mathbf{P}_{k-1}\} \subset \text{span}\{\mathbf{P}_k\}, k = 1, \dots, L$$

<68> 그리하여, 다음과 같은 결과를 도출한다:

**수학식 13**

<69> 
$$\Delta_k^2 = \text{Tr}\{\mathbf{Q}_k\} = (1 - r_k^2)L + r_k^2 \text{Tr}\{\mathbf{Q}_{k-1}\} + \frac{\mathbf{w}_k^H \left( (1 - r_k^2) \mathbf{I}_L + r_k^2 \mathbf{Q}_{k-1} \right) \mathbf{w}_k}{\mathbf{w}_k^H (\mathbf{I}_L - \mathbf{P}_{k-1}) \mathbf{w}_k}$$

<70> 수학식 (13)은 로딩 파라미터  $\gamma_k$ 와 관련하여 변화하지 않는다. 단일 관측(예를 들어,  $x_k$ )은 단일 자유도의 추정을 제공할 수 있다. 시작 단계에서, 추가적인 파일럿을 추가하는 것은 포함 관계인  $\text{span}\{\mathbf{P}_{k-1}\} \subset \text{span}\{\mathbf{P}_k\}$ 가 발생하기 때문에 채널 추정에 추가적인 방향을 추가한다. 다시 말하면,  $x_k$ 의 값은 전체 공간에 대한  $\mathbf{P}_{k-1}$ 의 직교 보수(complement)인 서브공간 상에  $\mathbf{w}_k$ 의 정규화된 버전의 정사영에 적용되는 스케일링의 추정으로 변환된다. 이전 추정  $\hat{\mathbf{h}}_{k-1}$ 가  $\mathbf{P}_{k-1}$ 의 범위 내에 있기 때문에, 새로운 파일럿의 기여분과 이전 추정 사이의 균형이 영향을 주지 않는다. 이것은 로딩 인자  $\gamma_k$ 가 시작 단계에서 임의적으로 선택될 수 있도록 한다. 특히,  $\gamma_k$ 는 상대적으로 작은 값을 가지도록 선택될 수 있다.  $\gamma_k$ 에 대한 이러한 값들의 장점은 아래에 보여지는 바와 같이 의사-역 연산들의 제거이다:

<71> 
$$\left( \rho \mathbf{w}_k \mathbf{w}_k^H + \gamma_k \mathbf{P}_{k-1} \right)^{\#} \left( \mathbf{w}_k x_k + \gamma_k r_k \hat{\mathbf{h}}_{k-1} \right) \xrightarrow{\gamma_k \rightarrow 0} \left( \rho \mathbf{w}_k \mathbf{w}_k^H + \gamma_k \mathbf{I}_L \right)^{-1} \left( \mathbf{w}_k x_k + \gamma_k r_k \hat{\mathbf{h}}_{k-1} \right)$$

<72> 선형 추정량  $\hat{\mathbf{h}}_k$ 는 그리하여 아래와 같이 표현될 수 있다:

**수학식 14**

<73> 
$$\hat{\mathbf{h}}_k = \left( \rho \mathbf{w}_k \mathbf{w}_k^H + \gamma_k \mathbf{I}_L \right)^{-1} \left( \mathbf{w}_k x_k + \gamma_k r_k \hat{\mathbf{h}}_{k-1} \right)$$

<74> 여기서, 로딩  $\gamma_k$ 는 시작 단계에서 작은 값으로 설정되며,  $K=1, \dots, L$ 이다.

<75> 수학식 (14)의 행렬 역 연산은 행렬 역변환 정리(lemma)에 기인하여 효율적으로 수행될 수 있다. 추정량  $\hat{\mathbf{h}}_k$ 의 결과적인 단순화된 업데이트는 채널의 추정을 제공하고 채널을 트래킹하기 위해 사용되는 다음의 수학식 (15)로 표현된다:

수학식 15

<76> 
$$\hat{\mathbf{h}}_k = \left( \mathbf{I}_L - \frac{\rho \beta_k}{1 + \rho \beta_k L} \mathbf{w}_k \mathbf{w}_k^H \right) (\beta_k x_k \mathbf{w}_k + r_k \hat{\mathbf{h}}_{k-1})$$

<77> 여기서,  $\beta_k = \gamma_k^{-1}$  이다. 정상 단계  $K > L$  동안에, 로딩 인자  $\gamma_k$  또는 등가적인  $\beta_k = \gamma_k^{-1}$ 의 선택이 먼저 설명된다. 관련된 대수(algebra)를 수행한 후에, 정상 단계에서 수학식 (13)의 아날로그는 다음의 순환들을 제공한다:

수학식 16

<78> 
$$\mathbf{g}_k = \frac{(1 - \mu_k)^2}{\rho^3 L} \mathbf{\Pi}_k + (\mathbf{\Pi}_k^\perp + \mu_k \mathbf{\Pi}_k) (r_k^2 \mathbf{g}_{k-1} + (1 - r_k^2) \mathbf{I}_L) (\mathbf{\Pi}_k^\perp + \mu_k \mathbf{\Pi}_k)$$

<79> 여기서,

수학식 17

<80> 
$$\mu_k = \frac{1}{1 + \beta_k L}, \quad \mathbf{\Pi}_k = \|\mathbf{w}_k\|^{-2} \mathbf{w}_k \mathbf{w}_k^H, \quad \mathbf{\Pi}_k^\perp = \mathbf{I}_L - \mathbf{\Pi}_k$$

<81> 파라미터  $\beta_k$ 와 관련하여  $Tr\{\mathbf{g}_k\}$ 의 정확한 최소화는  $\mathbf{g}_k$ 의 고유구조와 사영들  $\mathbf{\Pi}_k$  및  $\mathbf{\Pi}_k^\perp$ 의 구조 간의 사소하지 않은(non-trivial) 관계로 인하여 복잡해진다. 위에서 설명된 바와 같이, 정상 모드에서,  $\mathbf{g}_k$ 는 파일럿의 시간-주파수 구조와 정적 채널 프로세스에 대한 가정들에 기반하여 스케일링된 단위 행렬로 수렴해야 한다. 임의의 실질적인 횃수의 단계들을 통해, 파일럿 톤들은 신호 대역폭을 통해 균일하게 분포된다. 구체적으로, 임의의  $k_0=1, 2, \dots$ 에 대하여 다음의 조건이 적용된다:

수학식 18

<82> 
$$1/M \sum_{l=k_0+1}^{k_0+M} \mathbf{w}_l \mathbf{w}_l^H \xrightarrow{M \rightarrow \infty} \mathbf{I}_L$$

<83> 조건 (18)은 의사-랜덤 파일럿 패턴이 사용될 때 통계적으로 만족된다(즉, 확률 1). 채널 프로세스와 관련하여,  $r_k$ 는  $k$ 가 증가함에 따라 고정된  $r_w$ 로 수렴한다고 가정한다. 많은 경우들에서,  $r_k$ 는 상수, 즉  $r_k=r$ 이라고 가정할 수 있다. 다른 경우들, 예를 들어, 가변 업데이트 시간에서,  $r_k$ 는 가변적일 수 있다.

<84> 시퀀스  $\{\mathbf{w}_k\}$ 는 단위 공분산 행렬을 가지는 프로세스라고 가정한다. 최소 추적 기준 및 업데이트 규칙 (15)에 따라, 임의의 2차 방정식 형태  $\mathbf{v}^H \mathbf{g}_k \mathbf{v}$  (여기서,  $\|\mathbf{v}\|^2=1$ )는 0이 하한(lower bound)인 단조(monotonic)(증가하지 않는) 시퀀스임이 보여질 수 있다. 그리하여,  $\mathbf{v}^H \mathbf{g}_k \mathbf{v}$ 는 특정한 한계로 수렴한다. 이러한 한계들은 상이한  $\mathbf{v}$ 에 대하여 동일하다. 두 개의 다른 관측들이 이루어진다. 먼저, 다음의 형태로 있는 정상 단계가  $\mathbf{g}_k$ 에 대하여 고려될 수 있다:

수학식 19

<85> 
$$\mathbf{g}_k = \Delta_k^2 \mathbf{I}_L$$

<86> 이것은 아래에 보여지는 바와 같이  $\Delta_k^2$ 와 관련하여 근사적인 순환으로서  $\mathbf{g}_k$ 에 대하여 순환 (16)을 표현할 수 있도록 한다:

**수학식 20**

<87> 
$$\Delta_k^2 \mathbf{I}_L \approx (r_k^2 \Delta_{k-1}^2 + 1 - r_k^2) \mathbf{I}_k + \left( (r_k^2 \Delta_{k-1}^2 + 1 - r_k^2) \mu_k^2 + (1 - \mu_k)^2 \rho^{-2} L^{-1} \right) \mathbf{I}_k$$

<88> 또는 등가적으로,

**수학식 21**

<89> 
$$\Delta_k^2 L = (r_k^2 \Delta_{k-1}^2 + 1 - r_k^2)(L - 1) + \left( (r_k^2 \Delta_{k-1}^2 + 1 - r_k^2) \mu_k^2 + (1 - \mu_k)^2 \rho^{-2} L^{-1} \right)$$

<90> 여기서, 근사치는 정상 단계에서 정확하도록 요구된다.

<91> 수학식 (21)이 최소가 되도록, 수학식 (17)에 정의된  $\mu_k$ 에 대응하는  $\beta_k = \gamma_k^{-1}$ 를 찾는 것이 바람직하다. 거의 최적의  $\beta_k$ 와 대응하는  $\Delta_k^2$ 는 아래에 보여지는 바와 같이 획득될 수 있다:

**수학식 22**

<92> 
$$\beta_k = \rho^{-2} (r_k^2 \Delta_{k-1}^2 + 1 - r_k^2)^{-1}$$

**수학식 23**

<93> 
$$\Delta_k^2 = \rho^{-2} \beta_k \left( 1 - \frac{\beta_k}{1 + \beta_k L} \right)$$

<94> (22)-(23)에 의해 정의된 순환들은 인자  $\beta_k$ 를 업데이트하기 위해 사용된다. 수학식 (15)와 함께, 이러한 순환은 채널에 대한 추정 및 트래킹을 제공한다. 정상 단계 추정 에러  $\Delta_k^2$ 는 순환 (22)를 (23)으로 치환함으로써 결정될 수 있으며, 다음과 같은 결과를 도출한다:

**수학식 24**

<95> 
$$\Delta_k^2 = (r_k^2 \Delta_{k-1}^2 + 1 - r_k^2) \left( 1 - \frac{\rho^{-2} (r_k^2 \Delta_{k-1}^2 + 1 - r_k^2)}{1 + \rho^{-2} L (r_k^2 \Delta_{k-1}^2 + 1 - r_k^2)} \right)$$

<96>  $\Delta_k^2$ 에 대하여 2차 방정식인 수학식 (24)는 하나의 양수 근을 가질 수 있다. 수학식 (24)에 대한 닫힌 형식 (closed form) 솔루션이 존재할 수 있다. 테이블 I는 의사-코드 형태로 위에서 설명된 채널 추정/트래킹 절차를 요약하여 제공한다:

<97>

테이블 I

```

 $\beta = \beta_0;$ 
for  $k = 1$  to  $L$ 
     $\hat{\mathbf{h}} := \left( \mathbf{I}_L - \frac{\rho \beta}{1 + \rho \beta L} \mathbf{w}_k \mathbf{w}_k^H \right) (\beta x_k \mathbf{w}_k + r_k \hat{\mathbf{h}});$ 
end
 $\Delta^2 = \Delta_0^2;$ 
while tracking is on
     $\beta := \rho^{-2} (r_k^2 \Delta^2 + 1 - r_k^2)^{-1};$ 
     $\hat{\mathbf{h}} := \left( \mathbf{I}_L - \frac{\rho^2 \beta}{1 + \rho^2 \beta L} \mathbf{w}_k \mathbf{w}_k^H \right) (\beta x_k \mathbf{w}_k + r_k \hat{\mathbf{h}});$ 
     $\Delta^2 := \rho^2 \beta \left( 1 - \frac{\beta}{1 + \beta L} \right);$ 
end
    
```

<98>

<99> 특정되는 두 개의 파라미터들은  $\beta_0$  및  $\Delta_0^2$ 이다. 수치상으로 안정된 알고리즘을 보장하면서, 상대적으로 큰 값이  $\beta_0$ 에 대하여 선택될 수 있다( $\gamma_0 = \beta_0^{-1}$ 에 대하여는 상대적으로 작은 값).  $\Delta_0^2$ 의 값은 시작 단계의 끝부분에서의 추정 에러의 크기를 반영한다. 공분산 행렬  $\mathbf{Q}_k$ 는 시작 단계의 끝부분에서 단위 행렬과 달라질 수 있으며, 그리하여  $\Delta_0^2$ 의 선택은  $\mathbf{w}_1, \dots, \mathbf{w}_L$ 들이 직교하고 시작 단계에서의 채널 변화들이 무시될 수 있는 경우와 같은 몇몇 특별한 경우들을 제외하고는 항상 근사적일 것이다. 매우 느린 가변 채널들에 대하여, 에러의 크기는  $\rho^{-2} L^{-1}$ 에 비례할 것이다.

<100>

또한,  $\Delta_0^2 = 1$ 로 설정함으로써, 실제 채널과 동일한 레벨에서 초기 에러를 선택하는 것이 가능하다. 시작 단계의 끝부분에서의 추정 정확도는 시작 단계에서 파일럿들의 특정한 시퀀스  $m_1, \dots, m_L$ 에 의존하여 변할 수 있기 때문에, 이러한 선택은 일반적으로 보다 신뢰성이 있다.  $\Delta_0^2$ 에 대한 상대적으로 큰 값은 트래킹 절차가 다소 느리게 수렴하도록 할 것이며, 수렴 속도가 채널 상태 정보의 최선 노력 획득을 위한 최우선적인 인자가 아닐 수 있다는 것을 이해하도록 한다. 그러나,  $\Delta_0^2$ 의 최적 선택은 주어진 세트  $m_1, \dots, m_L$ 에서 제공될 수 있다는 것을 이해하도록 한다.

<101>

테이블 II는 테이블 I의 의사-코드를 보다 단순화시킨 것이다. 테이블 II는 일반적인 초기화를 이용하며 시작 단계와 정상 단계를 구분하지 않는다. 이러한 단순화는 정상 단계에 영향을 주지 않는다.

<102>

테이블 II

```

 $\Delta^2 = 1;$ 
while tracking is on
     $\beta := \rho^{-2} (r_k^2 \Delta^2 + 1 - r_k^2)^{-1};$ 
     $\hat{\mathbf{h}} := \left( \mathbf{I}_L - \frac{\rho^2 \beta}{1 + \rho^2 \beta L} \mathbf{w}_k \mathbf{w}_k^H \right) (\beta x_k \mathbf{w}_k + r_k \hat{\mathbf{h}});$ 
     $\Delta^2 := \rho^{-2} \beta \left( 1 - \frac{\beta}{1 + \beta L} \right);$ 
end
    
```

<103>

<104> 수학식 (24)에서 보여지는, 채널 프로세스의 적절한 특성화는 채널 변화들의 도플러 스펙트럼에 의존한다. 구체적으로, 이는 다음과 같다:

**수학식 25**

$$r_k = r(t_k - t_{k-1}), \quad r(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_D(f) e^{i2\pi f \tau} df$$

<105>

<106> 여기서,  $S_D(f)$  는 전형적으로 모바일 터미널의 속도뿐만 아니라 전파 환경에 의존하는 채널 변화들의 전력 스펙트럼 밀도이다. 기존의 모델은 균일한 방위각 분포를 가지며, 고정된 속도를 가지고 모바일 터미널 근처에 충분히 분포되어 있다고 가정한다. U자 형태 스펙트럼으로 알려진, 대응하는 도플러 스펙트럼은 다음과 같이 정의된다:

**수학식 26**

$$S_D(f) = \begin{cases} \frac{1}{\pi f_D \sqrt{1 - (f/f_D)^2}}, & |f| \leq f_D \\ 0, & |f| > f_D \end{cases}$$

<107>

<108> 여기서,  $f_D = f_c v_m / c$  이며,  $f_c$ 는 캐리어 주파수,  $v_m$ 은 모바일 속도,  $c=3 \cdot 10^8$  m/s이다.

<109> 다른 기존의 모델은 아래와 같이 정의된 균일한 스펙트럼을 취한다:

**수학식 27**

$$S_D(f) = \begin{cases} \frac{1}{2f_D}, & |f| \leq f_D \\ 0, & |f| > f_D \end{cases}$$

<110>

<111> 여기에서 사용되는 시간-주파수 파일럿 패턴은 다음과 같은 표현으로 정의된다:

**수학식 28**

$$\mathbf{k} = \sum_{i=0}^{N-1} a_{i,k} 2^i \Rightarrow m_k = \sum_{i=0}^{N-1} a_{i,k} 2^{N-1-i}$$

<112>

<113> 이러한 패턴은 임의의 한정된 시간 주기 동안 전체 대역폭에 대한 균일한 커버리지를 보장하며, 그리하여 고속

가변 채널들에 대한 추정 및 트래킹을 가능하게 한다.

<114> 채널 추정 및 트래킹은 프로그램을 형성하며 예컨대 중앙 처리 유니트에 의해 명령들/데이터로서 실행되는 하나 이상의 소프트웨어 모듈들의 다양한 코드들을 사용하거나, 또는 채널 및 간섭 레벨을 결정하기 위해 구체적으로 구성되고 전용으로 사용되는 하드웨어 모듈들을 사용하여 수행될 수 있다. 대안적으로, 채널 추정은 소프트웨어 및 하드웨어 모듈들의 결합을 사용하여 수행될 수 있다.

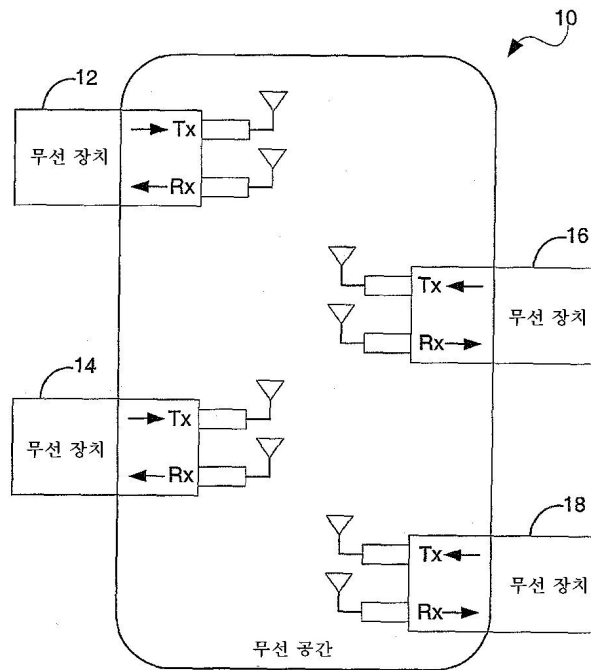
<115> 본 발명에 대한 전술한 실시예들은 설명을 위한 것이며 본 발명을 제한하기 위한 것이 아니다. 다양한 대안들 및 등가물들이 존재할 수 있다. 본 발명은 수행되는 인코딩, 디코딩, 변조, 복조, 결합, 고유 빔 형성 등의 타입에 의해 제한되지 않는다. 본 발명은 전송기 또는 수신기의 개수에 의해 제한되지 않는다. 본 발명은 본 발명이 배치될 수 있는 집적 회로의 타입에 의해 제한되지 않는다. 본 발명은 본 발명을 제조하기 위해 사용될 수 있는, 예컨대 CMOS, 바이폴라(Bipolar) 또는 BICMOS와 같은 프로세스 기술에 대한 임의의 특정 타입에 제한되지 않는다. 다른 추가 사항들, 변 사항들 또는 변형들은 본 발명에 비추어 자명하며 첨부된 청구항들의 범위 내에서 이루어지도록 의도된 것이다.

**도면의 간단한 설명**

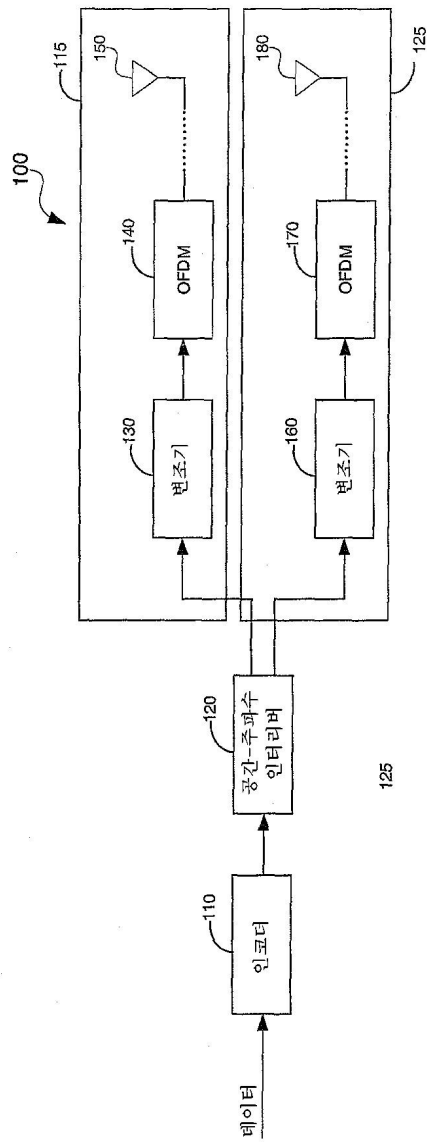
- <116> 도 1은 하나 이상의 무선 네트워크들을 통해 통신하기 위한 다수의 통신 장치들을 나타낸다.
- <117> 도 2는 무선 통신 시스템의 전송 엔드에 배치된 몇몇 블록들의 상위-레벨 블록 다이어그램이다.
- <118> 도 3은 무선 통신 시스템의 수신 엔드에 배치된 몇몇 블록들의 상위-레벨 블록 다이어그램이다.
- <119> 도 4는 본 발명에 따른 채널 특성들의 추정/트래킹을 가능하게 하기 위해 데이터 심볼들 사이에 배치된 다수의 파일럿 채널들을 나타낸다.

**도면**

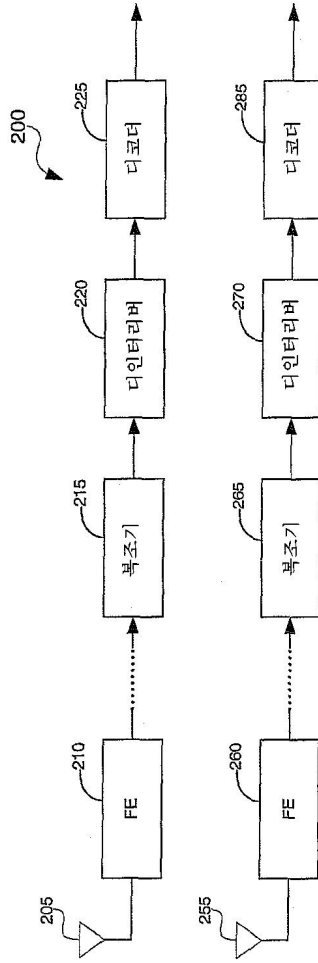
**도면1**



도면2



도면3



도면4

