



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년07월19일  
(11) 등록번호 10-1165544  
(24) 등록일자 2012년07월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H04L 1/18 (2006.01) H04B 7/26 (2006.01)  
H04W 4/06 (2009.01)  
(21) 출원번호 10-2010-0131808  
(22) 출원일자 2010년12월21일  
심사청구일자 2010년12월21일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR1020050005992 A  
KR1020070068434 A

(73) 특허권자  
한국과학기술원  
대전 유성구 구성동 373-1  
(72) 발명자  
장용업  
충청북도 청원군 강내면 태성탑연로 264, 태암수  
정아파트 101동 504호  
강민석  
대전광역시 유성구 은구비로 18, 가나파로스빌  
513호 (지족동)  
이주용  
대전광역시 유성구 배울1로 35, 쌍용스윗닷홈  
407동 1402호 (관평동)  
(74) 대리인  
특허법인 다해

전체 청구항 수 : 총 24 항

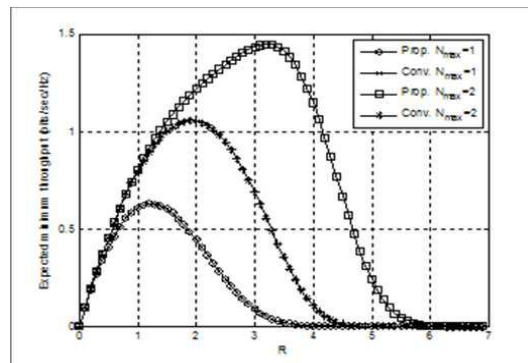
심사관 : 정은선

(54) 발명의 명칭 본 발명의 협력적 HARQ를 이용하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법, 시스템 및 이를 위한 기록매체

(57) 요약

협력적 HARQ를 이용하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법, 시스템 및 이를 위한 기록매체를 공개한다. 본 발명은 송신 노드와 수신 노드들 사이의 평균 신호대 잡음비가 동일하고, 수신 노드들 사이의 평균 신호대 잡음비가 동일한 경우와 송신 노드와 수신 노드들 사이의 평균 신호대 잡음비가 서로 다르고, 수신 노드들 사이의 평균 신호대 잡음비가 서로 다른 경우 모두에 대해 시스템 불능 제한값을 지정된 값 이내로 만족시키면서, 동시에 평균 최소 전송량을 최대화하는 최적의 전송량을 계산할 수 있도록 하므로, 시스템의 신뢰도를 향상 시킬 뿐만 아니라 효율을 높일 수 있다.

대표도 - 도3



R

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 10035567

부처명 방송통신위원회

연구사업명 지식경제 기술혁신사업[차세대통신네트워크 산업원천기술개발사업]

연구과제명 다중 무선망 기반 P2P 대용량 멀티미디어 콘텐츠 분산제어 및 중개 시스템 개발

주관기관 포인트아이(주)

연구기간 2010.04.01 ~ 2013.03.31

---

**특허청구의 범위**

**청구항 1**

송신 노드와 K(K는 자연수)개의 수신 노드를 구비하여 협력적 HARQ를 이용하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템에 있어서,

상기 송신 노드가 제n(n은 자연수) 시간 구간까지의 수신 신호를 최대비 결합 기법을 이용하여 조합한 후 복호할 경우의 상기 제k개의 수신 노드의 수신 신호대 잡음비를 계산하는 단계;

상기 송신 노드가 상기 수신 신호대 잡음비를 이용하여 상기 제n 시간 구간까지 하나의 수신노드에 대한 전송이 성공할 확률을 계산하는 단계;

상기 송신 노드가 상기 하나의 수신 노드에 대한 전송이 성공할 확률을 이용하여, 상기 제n 시간 구간까지 상기 K개의 수신 노드 모두에 대해 전송이 성공하여 무선 멀티캐스트 전송을 종료할 확률을 계산하는 단계;

상기 송신 노드가 상기 무선 멀티캐스트 전송을 종료할 확률을 이용하여 평균 최소 전송량을 계산하는 단계; 및

상기 송신 노드가 상기 평균 최소 전송량을 최대화시키는 최적 전송량을 계산하는 단계를 구비하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법.

**청구항 2**

제 1항에 있어서, 상기 제k개의 수신 노드의 수신 신호대 잡음비를 계산하는 단계는

상기 제n 시간 구간에서 제k 수신 노드로 수신되는 수신 신호( $y_k(n)$ )를

$$y_k(n) = \tilde{h}_k(n)x + w(n), \quad \tilde{h}_k(n) = h_k(n)\sqrt{P_b} + \sum_{i \in \{X_1, \dots, X_{n-1}\}} h_{ik}(n)\sqrt{P_u}$$

( $h_k(n) \sim CN(0, \rho_k)$ )와 ( $h_{ik}(n) \sim CN(0, \rho_{ik})$ )는 송신 노드(BS)와 제k 수신 노드 사이의 채널, 제i(i는 자연수) 수신 노드와 제k 수신 노드 사이의 채널을 나타내고, 각 채널의 분포는 평균이 0이고 분산이  $\rho_k, \rho_{ik}$ 인 복소 가우시안 분포를 나타내고,  $P_b$ 와  $P_u$ 는 각각 송신 노드 전송 전력과 수신 노드 전송 전력을 나타내고,  $x \sim CN(0, 1)$ 은 송신 노드와 정상적으로 복호한 수신 노드에서 전송되는 심볼(symbol)이고,  $w(n) \sim CN(0, 1)$ 은 추가적인 화이트 가우시안 노이즈임)로 계산하는 단계; 및

상기 제k 수신 노드의 수신 신호대 잡음비( $\gamma_{k,n}$ )를

$$\gamma_{k,n} = \tilde{\mathbf{h}}_{k,n}^H \tilde{\mathbf{h}}_{k,n}$$

(여기서,  $\tilde{\mathbf{h}}_{k,n} = [\tilde{h}_k(1), \dots, \tilde{h}_k(n)]^T$ )

로 계산하는 단계를 구비하는 것을 특징으로 하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법.

**청구항 3**

제 1항에 있어서, 상기 하나의 수신노드에 대한 전송이 성공할 확률을 계산하는 단계는

상기 무선 멀티캐스트 서비스 시스템에서 상기 송신 노드와 상기 K개의 수신 노드 사이의 평균 신호대 잡음비가 동일하고, 상기 K개의 수신 노드 사이의 평균 신호대 잡음비가 동일하며,

상기 제n 시간 구간까지 하나의 수신 노드에 대한 전송이 성공할 확률( $p_s(k_0, \dots, k_{n-1})$ )을 상기 제n 시간 구간의 n=1 이면,

$$p_s(k_0) = \Pr(\gamma_{k,1} > \gamma) = e^{-\gamma/\bar{P}_b}$$

(여기서,  $k_0=0$ ,  $\gamma=2^R-1$ , 이고, 확률( $\Pr(\gamma_{k,n} > \gamma)$ )은 채널 용량( $\log_2(1+\gamma_{k,1})$ )가 초기 송신량(R)보다 클 확률)

로 계산하고,

n≥2 이면,

$$\begin{aligned} p_s(k_0, \dots, k_{n-1}) &= \Pr(\gamma_{k,n} > \gamma, \gamma_{k,n-1} < \gamma) \\ &= \Pr(\gamma_{k,n-1} < \gamma) - \Pr(\gamma_{k,n} < \gamma) \end{aligned}$$

(여기서, 확률( $\Pr(\gamma_{k,n} > \gamma, \gamma_{k,n} < \gamma)$ )은 채널 용량( $\log_2(1+\gamma_{k,n-1})$ )이 초기 송신량(R)보다 작고, 동시에 제n 시간 구간까지의 수신 노드에 대한 추적 결함을 수행한 이후 채널 용량( $\log_2(1+\gamma_{k,n})$ )이 초기 송신량(R)보다 클 확률)로 계산하는 단계를 구비하는 것을 특징으로 하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법.

#### 청구항 4

제3항에 있어서, 상기 무선 멀티캐스트 전송을 종료할 확률을 계산하는 단계는

상기 무선 멀티캐스트 전송을 종료할 확률을

n=1 이면,

$$p_{f,1}(R) = (p_s(k_0))^K$$

n≥2 이면,

$$\begin{aligned} p_{f,n}(R) &= \sum_{k_1=0}^{K-1} \binom{K}{k_1} \left( \sum_{k_2=0}^{K-1-k_1} \binom{K-k_1}{k_2} \left( \dots \sum_{k_{n-1}=0}^{K-1-\sum_{i=1}^{n-2} k_i} \binom{K-\sum_{i=1}^{n-2} k_i}{k_{n-1}} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \times \prod_{i=1}^{n-1} (p_s(k_0, \dots, k_{i-1}))^{k_i} (p_s(k_0, \dots, k_{n-1}))^{K-\sum_{j=1}^{n-1} k_j} \right) \right) \end{aligned}$$

로 계산하는 단계를 구비하는 것을 특징으로 하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법.

#### 청구항 5

제 1항에 있어서, 상기 평균 최소 전송량을 계산하는 단계는

$$R_{min}(R) = R \sum_{n=1}^{N_{max}} \frac{p_{f,n}(R)}{n}$$

상기 평균 최소 전송량( $R_{min}$ )을

로 계산하는 것을 특징으로 하는

무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법.

#### 청구항 6

제 5항에 있어서, 상기 최적 전송량을 계산하는 단계는

상기 최적 전송량( $R_{min}^o$ )을  $R_{min}^o = \max_R \{R_{min}(R)\}$  로 계산하는 것을 특징으로 하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법.

**청구항 7**

제 1항에 있어서, 상기 하나의 수신노드에 대한 전송이 성공할 확률을 계산하는 단계는

상기 무선 멀티캐스트 서비스 시스템에서 상기 송신 노드와 상기 K개의 수신 노드 사이의 평균 신호대 잡음비가 서로 다르고, 상기 K개의 수신 노드 사이의 평균 신호대 잡음비가 서로 다르며,

상기 제n 시간 구간까지 하나의 수신 노드에 대한 전송이 성공할 확률( $p_{s,k}(K_0, \dots, K_{n-1})$ )을 상기 제n 시간 구간의 n=1 이면,

$$p_{s,k}(K_0) = \Pr(\gamma_{K,n} > \gamma) = e^{-\gamma / \bar{P}_b}$$

(여기서,  $k_0=0$ ,  $\gamma=2^R-1$ ,  $\bar{P}_b \triangleq \rho P_b$  이고, 확률( $\Pr(\gamma_{k,n} > \gamma)$ )은 채널 용량( $\log_2(1+\gamma_{k,1})$ )가 초기 송신량(R)보다 클 확률)

로 계산하고,

n≥2 이면,

$$\begin{aligned} p_{s,k}(K_0, \dots, K_{n-1}) &= \Pr(\gamma_{K,n} > \gamma, \gamma_{K,n-1} < \gamma) \\ &= \Pr(\gamma_{K,n-1} < \gamma) - \Pr(\gamma_{K,n} > \gamma) \end{aligned}$$

(여기서, 확률( $\Pr(\gamma_{K,n} > \gamma, \gamma_{K,n-1} < \gamma)$ )은 채널 용량( $\log_2(1+\gamma_{k,n-1})$ )이 초기 송신량(R)보다 작고, 동시에 제n 시간 구간

까지의 수신 노드에 대한 추적 결함을 수행한 이후 채널 용량( $\log_2(1+\gamma_{k,n})$ )이 초기 송신량(R)보다 클 확률)

로 계산하는 단계를 구비하는 것을 특징으로 하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법.

**청구항 8**

제 7항에 있어서, 상기 무선 멀티캐스트 전송을 종료할 확률을 계산하는 단계는

상기 무선 멀티캐스트 전송을 종료할 확률을

n=1 이면,

$$p_{f,1}(R) = \prod_{k=1}^K p_{s,k}(K_0)$$

n≥2 이면,

$$p_{f,n}(R) = \sum_{\substack{\mathcal{K}_i = \emptyset \text{ or } \mathcal{K}_i \subseteq \mathcal{K} \setminus \{\mathcal{K}_0, \dots, \mathcal{K}_{i-1}\}, \\ \text{for } i=1, \dots, n-1}} \prod_{\substack{k_i \in \mathcal{K}_i \text{ for } i=1, \dots, n-1, \\ k_n \in \mathcal{K} \setminus \{\mathcal{K}_1, \dots, \mathcal{K}_{n-1}\}}} p_{s,k_1}(K_0) \cdots p_{s,k_n}(K_0, \dots, K_{n-1})$$

로 계산하는 단계를 구비하는 것을 특징으로 하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법.

**청구항 9**

제 8항에 있어서, 상기 평균 최소 전송량을 계산하는 단계는

$$R_{min}(R) = R \sum_{n=1}^{N_{max}} \frac{p_{f,n}(R)}{n}$$

상기 평균 최소 전송량( $R_{min}$ )을 로 계산하는 것을 특징으로 하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법.

**청구항 10**

제 9항에 있어서, 상기 최적 전송량을 계산하는 단계는

상기 최적 전송량( $R_{min}^o$ )을  $R_{min}^o = \max_R \{R_{min}(R)\}$  로 계산하는 것을 특징으로 하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법.

**청구항 11**

제 1 내지 10항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 무선 멀티캐스트 서비스 최적화 방법을 구현하기 위한 프로그램 명령어가 기록된 기록매체.

**청구항 12**

제1 내지 10항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법에 의해 계산되는 최적 전송량으로 데이터를 송수신하는 상기 송신 노드와 상기 K개의 수신 노드를 구비하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템.

**청구항 13**

송신 노드와 K(K는 자연수)개의 수신 노드를 구비하여 협력적 HARQ를 이용하는 무선 멀티캐스트 서비스 있어서,

상기 송신 노드가 제n(n은 자연수) 시간 구간까지의 수신 신호를 최대비 결합 기법을 이용하여 조합한 후 복호할 경우에 상기 제k 수신 노드의 수신 신호대 잡음비를 계산하는 단계;

상기 송신 노드가 상기 수신 신호대 잡음비를 이용하여 상기 제n 시간 구간까지 하나의 수신 노드에 대한 전송이 성공할 확률을 계산하는 단계;

상기 송신 노드가 상기 하나의 수신 노드에 대한 전송이 성공할 확률을 이용하여, 상기 제n 시간 구간까지 상기 K개의 수신 노드 모두에 대해 전송이 성공하여 무선 멀티캐스트 전송을 종료할 확률을 계산하는 단계;

상기 송신 노드가 상기 무선 멀티캐스트 전송을 종료할 확률을 이용하여 시스템 불능 제한 값을 계산하는 단계; 및

상기 송신 노드가 상기 시스템 불능 제한 값을 만족시키는 최적 전송량을 계산하는 단계를 구비하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법.

**청구항 14**

제 13항에 있어서, 상기 제k 수신 노드의 수신 신호대 잡음비를 계산하는 단계는

상기 제n 시간 구간에서 제k 수신 노드로 수신되는 수신 신호( $y_k(n)$ )를

$$y_k(n) = \tilde{h}_k(n)x + w(n), \quad \tilde{h}_k(n) = h_k(n)\sqrt{P_b} + \sum_{i \in \{K_1, \dots, K_{n-1}\}} h_{ik}(n)\sqrt{P_u}$$

$h_k(n) \sim CN(0, \rho_k)$  와  $h_{ik}(n) \sim CN(0, \rho_{ik})$  는 송신 노드(BS)와 제k 수신 노드 사

이의 채널, 제i(i는 자연수) 수신 노드와 제k 수신 노드 사이의 채널을 나타내고, 각 채널의 분포는 평균이 0 이고 분산이  $\rho_{ik}, \rho_{ik}$  인 복소 가우시안 분포를 나타내고,  $P_b$ 와  $P_u$ 는 각각 송신 노드 전송 전력과 수신 노드 전송 전력을 나타내고,  $\mathbf{x} \sim CN(0, \mathbf{1})$ 은 송신 노드와 정상적으로 복호한 수신 노드에서 전송되는 심볼(symbol)이고,  $w(n) \sim CN(0, 1)$ 은 추가적인 화이트 가우시안 노이즈임)로 계산하는 단계; 및

상기 제k 수신 노드의 수신 신호대 잡음비( $\gamma_{k,n}$ )를

$$\gamma_{k,n} = \tilde{\mathbf{h}}_{k,n}^H \tilde{\mathbf{h}}_{k,n}$$

$$\tilde{\mathbf{h}}_{k,n} = [\tilde{h}_k(1), \dots, \tilde{h}_k(n)]^T$$

(여기서, )

로 계산하는 단계를 구비하는 것을 특징으로 하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법.

### 청구항 15

제 13항에 있어서, 상기 하나의 수신 노드에 대한 전송이 성공할 확률을 계산하는 단계는

상기 무선 멀티캐스트 서비스 시스템에서 상기 송신 노드와 상기 K개의 수신 노드 사이의 평균 신호대 잡음비가 동일하고, 상기 K개의 수신 노드 사이의 평균 신호대 잡음비가 동일하며,

상기 제n 시간 구간까지 하나의 수신 노드에 대한 전송이 성공할 확률( $p_s(k_0, \dots, k_{n-1})$ )을 상기 제n 시간 구간의 n=1 이면,

$$p_s(k_0) = \Pr(\gamma_{k,1} > \gamma) = e^{-\gamma/\bar{P}_b}$$

(여기서,  $k_0=0$ ,  $\gamma=2^R-1$ ,  $\bar{P}_b \triangleq \rho P_b$  이고, 확률( $\Pr(\gamma_{k,n} > \gamma)$ )은 채널 용량( $\log_2(1+\gamma_{k,n})$ )가 초기 송신량(R)보다 클 확률)

로 계산하고,

n≥2 이면,

$$\begin{aligned} p_s(k_0, \dots, k_{n-1}) &= \Pr(\gamma_{k,n} > \gamma, \gamma_{k,n-1} < \gamma) \\ &= \Pr(\gamma_{k,n-1} < \gamma) - \Pr(\gamma_{k,n} < \gamma) \end{aligned}$$

(여기서, 확률( $\Pr(\gamma_{k,n} > \gamma, \gamma_{k,n} < \gamma)$ )은 채널 용량( $\log_2(1+\gamma_{k,n-1})$ )이 초기 송신량(R)보다 작고, 동시에 제n

시간 구간까지의 수신 노드에 대한 추적 결함을 수행한 이후 채널 용량( $\log_2(1+\gamma_{k,n})$ )이 초기 송신량(R)보다 클 확률)

로 계산하는 단계를 구비하는 것을 특징으로 하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법.

### 청구항 16

제15항에 있어서, 상기 무선 멀티캐스트 전송을 종료할 확률을 계산하는 단계는

상기 무선 멀티캐스트 전송을 종료할 확률을

n=1 이면,

$$p_{f,1}(R) = (p_s(k_0))^K$$

n≥2 이면,

$$p_{f,n}(R) = \sum_{k_1=0}^{K-1} \binom{K}{k_1} \left( \sum_{k_2=0}^{K-1-k_1} \binom{K-k_1}{k_2} \left( \dots \sum_{k_{n-1}=0}^{K-1-\sum_{i=1}^{n-2} k_i} \binom{K-\sum_{i=1}^{n-2} k_i}{k_{n-1}} \right. \right. \\ \left. \left. \times \prod_{i=1}^{n-1} (p_s(k_0, \dots, k_{i-1}))^{k_i} (p_s(k_0, \dots, k_{n-1}))^{K-\sum_{j=1}^{n-1} k_j} \right) \right)$$

로 계산하는 단계를 구비하는 것을 특징으로 하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법.

**청구항 17**

제 13항에 있어서, 상기 시스템 불능 제한 값을 계산하는 단계는

$$P_{out}(R) = 1 - \sum_{n=1}^{N_{max}} p_{f,n}(R)$$

상기 시스템 불능 제한값( $P_{out}$ )을 로 계산하는 것을 특징으로 하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법.

**청구항 18**

제 17항에 있어서, 상기 최적 전송량을 계산하는 단계는

상기 시스템 불능 제한값( $P_{out}$ )을 적용한 최종 최적 전송량( $R_{out}^o$ )을

$R_{out}^o$  where  $P_{out}(R_{out}^o) = P_{out}$  로 계산하는 것을 특징으로 하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법.

**청구항 19**

제 13항에 있어서, 상기 하나의 수신 노드에 대한 전송이 성공할 확률을 계산하는 단계는

상기 무선 멀티캐스트 서비스 시스템에서 상기 송신 노드와 상기 K개의 수신 노드 사이의 평균 신호대 잡음비가 서로 다르고, 상기 K개의 수신 노드 사이의 평균 신호대 잡음비가 서로 다르며,

상기 제n 시간 구간까지 하나의 수신 노드에 대한 전송이 성공할 확률( $p_{s,k}(K_0, \dots, K_{n-1})$ )을 상기 제n 시간 구간의 n=1 이면,

$$p_{s,k}(K_0) = \Pr(\gamma_{K,n} > \gamma) = e^{-\gamma / \bar{P}_b}$$

(여기서,  $k_0=0$ ,  $\gamma=2^R-1$ ,  $\bar{P}_b \triangleq \rho P_b$  이고, 확률( $\Pr(\gamma_{k,n} > \gamma)$ )은 채널 용량( $\log_2(1+\gamma_{k,1})$ )가 초기 송신량(R)보다 클 확률)

로 계산하고,



$n \geq 2$  이면,

$$p_{s,k}(K_0, \dots, K_{n-1}) = \Pr(\gamma_{K,n} > \gamma, \gamma_{K,n-1} < \gamma) \\ = \Pr(\gamma_{K,n-1} < \gamma) - \Pr(\gamma_{K,n} > \gamma)$$

(여기서, 확률( $\Pr(\gamma_{K,n} > \gamma, \gamma_{K,n-1} < \gamma)$ )은 채널 용량( $\log_2(1 + \gamma_{k,n-1})$ )이 초기 송신량( $R$ )보다 작고, 동시에 제  $n$  시간 구간까지의 수신 노드에 대한 추적 결함을 수행한 이후 채널 용량( $\log_2(1 + \gamma_{k,n})$ )이 초기 송신량( $R$ )보다 클 확률)

로 계산하는 단계를 구비하는 것을 특징으로 하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법.

**청구항 20**

제 19항에 있어서, 상기 무선 멀티캐스트 전송을 종료할 확률은  $n=1$  이면,

$$p_{f,1}(R) = \prod_{k=1}^K p_{s,k}(\mathcal{K}_0)$$

$n \geq 2$  이면,

$$p_{f,n}(R) = \sum_{\substack{\mathcal{K}_i = \emptyset \text{ or } \mathcal{K}_i \subseteq \mathcal{K} \setminus \{\mathcal{K}_0, \dots, \mathcal{K}_{i-1}\}, \\ \text{for } i=1, \dots, n-1}} \prod_{\substack{k_i \in \mathcal{K}_i \text{ for } i=1, \dots, n-1, \\ k_n \in \mathcal{K} \setminus \{\mathcal{K}_1, \dots, \mathcal{K}_{n-1}\}}} p_{s,k_1}(\mathcal{K}_0) \cdots p_{s,k_n}(\mathcal{K}_0, \dots, \mathcal{K}_{n-1})$$

로 계산하는 단계를 구비하는 것을 특징으로 하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법.

**청구항 21**

제 20항에 있어서, 상기 시스템 불능 제한 값을 계산하는 단계는

$$P_{out}(R) = 1 - \sum_{n=1}^{N_{max}} p_{f,n}(R)$$

상기 시스템 불능 제한값( $P_{out}$ )을 로 계산하는 단계를 구비하는 것을 특징으로 하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법.

**청구항 22**

제 21항에 있어서, 상기 최적 전송량을 계산하는 단계는

$$R_{out}^o \text{ where } P_{out}(R_{out}^o) = P_{out}^o$$

상기 시스템 불능 제한값( $P_{out}$ )을 적용한 최종 최적 전송량( $R_{out}^o$ )을 로 계산하는 것을 특징으로 하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법.

**청구항 23**

제 13 내지 22항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 무선 멀티캐스트 서비스 최적화 방법을 구현하기 위한 프로그램 명령어가 기록된 기록매체.

**청구항 24**

제 13 내지 22항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법에 의해 계산되는 최적 전송량으로 데이터를 송수신하는 상기 송신 노드와 상기 K개의 수신 노드를 구비하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 본 발명의 협력적 HARQ를 이용하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법, 시스템 및 이를 위한 기록매체에 관한 것으로, 특히 신뢰성을 높이기 위한 협력적 HARQ를 이용하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법, 이를 이용하는 시스템 및 이를 위한 기록매체에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 멀티캐스트 서비스(multicast service)는 동일한 데이터를 둘 이상의 다른 수신 노드로 동시에 전송하는 방식이다. 이는 특정한 하나의 수신 노드로만 데이터 패킷을 전송하는 방식인 유니캐스트(unicast)와 대응되는 것으로, 유니캐스트와 브로드캐스트(broadcast)의 중간 형태로 볼 수 있다. 유니캐스트 방식이 수신 노드의 수만큼 데이터 패킷을 반복해서 보내야 하기 때문에 통신망의 효율을 저하시키고, 송신 노드의 전송 부담도 큰 데 반해 멀티캐스트는 그룹 주소(Group Address)를 가지고 연속적인 데이터를 1 : 복수, 복수 : 복수에 효율적으로 전송하는 방식이므로 데이터 중복 전송으로 인한 네트워크 자원 낭비를 막을 수 있다. 또한 지정된 주소로 패킷을 한 번만 전달하면 멀티캐스트 그룹에 속한 모든 호스트에 전달되기 때문에 효율성이 훨씬 높고 서버의 부하도 획기적으로 줄일 수 있다는 장점이 있다.

[0003] 기존의 무선 멀티캐스트 서비스는 용량을 증대하기 위하여 하이브리드 자동 재전송(Hybrid Automatic Repeat reQuest, 이하 : HARQ)을 적용하였다.

[0004] HARQ는 데이터 전송 시스템에서 전송오류를 제어하는 기법 중 하나로서 오류 발생에 따른 재전송의 횟수를 줄이기 위해 먼저 전송된 데이터와 재전송된 데이터를 결합하여 디코딩하는 개선된 자동 재전송 요구(Automatic Repeat reQuest : ARQ) 기법이다. HARQ는 다시 추적 결합 기법(Chase Combining scheme)의 HARQ와 증가 리던던시 기법(Incremental redundancy scheme)의 HARQ로 구분된다. 추적 결합 기법은 수신된 데이터에 오류가 있으면, 수신된 데이터를 폐기하는 것이 아니라, 이후 재전송되는 데이터와 결합하여 신호 전력을 높여주는 효과를 얻는 기법이다. 그리고 증가 리던던시 기법은 초기 전송 시에 불필요하게 높은 리던던시 부호를 전송하는 것을 방지하기 위하여 초기 전송 시에는 높은 부호율의 부호를 사용하고, 재전송이 발생하는 경우에 추가적인 패리티(Parity)를 전송하는 기법이다.

[0005] 그러나 무선 환경에서 소스 노드로부터 수신 노드까지 데이터를 전달하는 것은, 유선 환경과 달리 제한된 무선 스펙트럼 자원을 이용하여 제한된 배터리 전력 용량 하에서 이루어진다. 그러므로 제한된 자원을 효율적으로 사용하는 것이 매우 중요하다.

[0006] 특히 무선 멀티캐스트 서비스가 군사용과 같은 다양한 용도로 사용될 경우에는 극한의 상황을 고려해야하며, 극한의 상황에서는 기존의 HARQ를 적용하는 것만으로는 제한된 자원을 효율적으로 사용하면서 높은 신뢰도를 갖는 무선 멀티캐스트 서비스를 제공하기 어렵다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0007] 본 발명의 목적은 신뢰도를 높이고, 시스템 최적화를 수행 할 수 있는 협력적 HARQ를 이용하는 무선 멀티캐스트 서비스의 최적화 방법을 제공하는데 있다.

[0008] 본 발명의 다른 목적은 상기 목적을 달성하기 위한 무선 멀티캐스트 서비스 시스템을 제공하는 데 있다.

**과제의 해결 수단**

[0009] 상기 목적을 달성하기 위한 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법은 송신 노드와  $K$ ( $K$ 는 자연수)개의 수신 노드를 구비하여 협력적 HARQ를 이용하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템에 있어서, 제 $n$ ( $n$ 은 자연수) 시간 구간까지의 수신 신호를 최대비 결합 기법을 이용하여 조합한 후 복호할 경우의 제 $k$ ( $k$ 는 자연수) 수신 노드의 수신 신호대 잡음비가 계산되는 단계, 상기 수신 신호대 잡음비를 이용하여 상기 제 $n$  시간 구간까지 하나의 수신 노드에 대한 전송이 성공할 확률이 계산되는 단계, 상기 하나의 수신 노드에 대한 전송이 성공할 확률을 이용하여, 상기 제 $n$  시간 구간까지  $K$ 개의 수신 노드 모두에 대해 전송이 성공하여 무선 멀티캐스트 전송을 종료할 확률이 계산되는 단계, 상기 무선 멀티캐스트 전송을 종료할 확률을 이용하여 평균 최소 전송량이 계산되는 단계, 상기 평균 최소 전송량을 최대화 시키는 최적 전송량이 계산되는 단계를 구비한다.

[0010] 상기 목적을 달성하기 위한 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법은 송신 노드와  $K$ ( $K$ 는 자연수)개의 수신 노드를 구비하여 협력적 HARQ를 이용하는 무선 멀티캐스트 서비스에 있어서, 제 $n$ ( $n$ 은 자연수) 시간 구간까지의 수신 신호를 최대비 결합 기법을 이용하여 조합한 후 복호할 경우에 제 $k$ ( $k$ 는 자연수) 수신 노드의 수신 신호대 잡음비가 계산되는 단계, 상기 수신 신호대 잡음비를 이용하여 상기 제 $n$  시간 구간까지 하나의 수신 노드에 대한 전송이 성공할 확률이 계산되는 단계;

[0011] 상기 하나의 수신 노드에 대한 전송이 성공할 확률을 이용하여, 상기 제 $n$  시간 구간까지  $K$ 개의 수신 노드 모두에 대해 전송이 성공하여 무선 멀티캐스트 전송을 종료할 확률이 계산되는 단계, 상기 무선 멀티캐스트 전송을 종료할 확률을 이용하여 시스템 불능 제한 값이 계산되는 단계, 상기 시스템 불능 제한 값을 만족 시키는 최적 전송량이 계산되는 단계를 구비한다.

**발명의 효과**

[0012] 따라서, 본 발명의 협력적 HARQ를 이용하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 최적화 방법, 시스템 및 이를 위한 기록매체는 송신 노드와 수신 노드들 사이의 평균 신호대 잡음비가 동일하고, 수신 노드들 사이의 평균 신호대 잡음비가 동일한 경우와 송신 노드와 수신 노드들 사이의 평균 신호대 잡음비가 서로 다르고, 수신 노드들 사이의 평균 신호대 잡음비가 서로 다른 경우 모두에 대해 시스템 불능 제한값을 지정된 값 이내로 만족 시키면서, 동시에 평균 최소 전송량을 최대화하는 최적의 전송량을 계산할 수 있도록 하므로, 시스템의 신뢰도를 향상 시킬 뿐만 아니라 효율을 높일 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0013] 도 1a 내지 도 1c는 본 발명의 개념에 따른 협력적 HARQ를 이용하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 일예를 나타내는 도면이다.

도 2는 본 발명의 일예에 따른 협력적 HARQ를 이용하는 무선 멀티캐스트 서비스 방법을 나타내는 순서도이다.

도 3은 본 발명의 무선 멀티캐스트 서비스의 최적화 방법을 적용하여, 전송량에 따른 평균 최소 전송량을 시뮬레이션한 도면이다.

도 4 내지 도 6은 각각 도 3은 본 발명의 무선 멀티캐스트 서비스의 최적화 방법을 적용하여, 수신노드의 수  $K$ 를 1명에서 50명으로 변화시키면서 평균 최소 용량을 시뮬레이션한 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0014] 본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시예에 의하여 달성되는 목적을 충분히 이해하기 위해서는 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 첨부 도면 및 첨부 도면에 기재된 내용을 참조하여야만 한다.

[0015] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명함으로써, 본 발명을 상세히 설명한다. 그러나, 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 설명하는 실시예에 한정되는 것이 아니다. 그리고, 본 발명을 명확하게 설명하기 위하여 설명과 관계없는 부분은 생략되며, 도면의 동일한 참조부호는 동일한 부재임을 나타낸다.

[0016] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 “포함” 한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라, 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 “...부”, “...기”, “모듈”, “블록” 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

- [0017] 도 1a 내지 도 1c는 본 발명의 개념에 따른 협력적 HARQ를 이용하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템의 일예를 나타내는 도면이다.
- [0018] 본 발명의 일예에 따른 통신 프로토콜을 도식화 하면 도 1a 내지 도 1c와 같다. 도 1a 내지 도 1c에서는 송신 노드(BS)가 4개의 수신 노드(RND1 ~ RND4)로 데이터를 멀티캐스트하는 시스템을 가정하였다. 도 1a에 도시된 바와 같이 본 발명의 무선 멀티캐스트 서비스는 송신 노드(TND1)가 최초 제1 시간 구간에 그룹 내의 모든 수신 노드(RND1 ~ RND4)로 동일한 데이터를 멀티캐스트한다.
- [0019] 그룹 내에서 제1 수신 노드(RND1)와 제3 수신 노드(RND3)는 수신된 데이터를 정상적으로 복호를 하였고, 제2 수신 노드(RND2)와 제4 수신 노드(RND4)는 데이터를 정상적으로 복호하지 못하였다고 가정할 때, 시스템의 신뢰도를 높이기 위하여 송신 노드(BS)는, 도 1b에 도시된 바와 같이, 데이터를 HARQ 기법을 이용하여 제2 시간 구간에 재전송 한다. 그러나 제1 수신 노드(RND1)와 제3 수신 노드(RND3)가 데이터를 제대로 복호하였을 경우에 송신 노드가 송신하는 정보는 필요가 없다. 따라서 본 발명에 따른 무선 멀티캐스트 서비스 시스템은 제2 시간 구간에 데이터를 정상적으로 복호한 제1 수신 노드(RND1)와 제3 수신 노드(RND3)가 송신 노드(BS)와 함께 협력하여 신호를 재전송한다. 즉 도 1b에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 무선 멀티캐스트 서비스 시스템은 제2 시간 구간에 송신 노드(BS)가 정상적으로 데이터를 복호하지 못한 수신 노드(여기서는 제2 및 제4 수신 노드(RND2, RND4))로 데이터를 재전송할 뿐만 아니라, 제1 시간 구간에 정상적으로 데이터를 수신하여 복호한 수신 노드(여기서는 제1 및 제3 수신 노드(RND1, RND3))도 제2 및 제4 수신 노드(RND2, RND4)로 데이터를 전송한다. 이로 인하여 제2 및 제4 수신 노드(RND2, RND4)는 제1 시간 구간에 대비하여 높은 신호대 잡음비(Signal to Noise Rate : SNR)를 가지게 되므로, 높은 복호 이득을 가질 수 있다.
- [0020] 그리고 제2 시간 구간에서 제2 수신 노드(RND2)는 데이터를 정상적으로 복호하였으나, 제4 수신 노드(RND4)는 여전히 데이터를 정상적으로 복호하지 못하였다면, HARQ 기법을 이용하여 제3 시간 구간에 데이터를 재전송 한다. 그러나 제2 시간 구간까지 제1 내지 제3 수신 노드(RND1 ~ RND3)가 데이터를 정상적으로 복호하였으므로, 그룹 내에서 데이터를 정상적으로 복호하지 못한 수신 노드는 제4 수신 노드(RND4) 뿐이다. 따라서 본 발명의 무선 멀티캐스트 서비스 시스템은 제3 시간 구간에 송신 노드(BS)와 제1 내지 제3 수신 노드(RND1 ~ RND3)가 모두 제4 수신 노드(RND4)로 동일한 데이터를 전송한다.
- [0021] 도 2는 본 발명의 일예에 따른 협력적 HARQ를 이용하는 무선 멀티캐스트 서비스 방법을 나타내는 순서도이다.
- [0022] 도 2에서 협력적 HARQ를 이용하는 무선 멀티캐스트 서비스 시스템에서 수신 노드의 개수를  $K$ ( $K$ 는 자연수)개로 확장하여 설명한다. 도 1을 참조하여 도 2의 협력적 HARQ를 이용하는 무선 멀티캐스트 서비스 방법을 설명하면, 먼저 송신 노드가  $K$ 개의 수신 노드로 데이터를 송신한다(S110). 그러면  $K$ 개의 수신 노드 각각은 송신 노드에서 송신된 데이터를 수신하여 복호한다. 모든 수신 노드가 정상적으로 데이터를 복호하였는지 판별하여(S130), 모든 수신 노드가 정상적으로 데이터를 복호하였으면, 서비스를 종료한다. 그러나 정상적으로 데이터를 복호하지 못한 수신 노드가 있으면, 동일 데이터에 대한 전송 횟수가 지정된 최대 전송 횟수에 도달하였는지 확인한다(S140). 동일 데이터에 대한 전송 횟수가 지정된 최대 전송 횟수에 도달하였으면, 무선 멀티캐스트 서비스를 종료한다.
- [0023] 그러나 전송 횟수가 지정된 최대 전송 횟수보다 작으면, 송신 노드뿐만 아니라 정상적으로 데이터를 복호한 수신 노드가 송신 노드와 함께 정상적으로 데이터를 복호하지 못한 수신 노드로 데이터를 송신한다(S150). 즉 본 발명에 따른 무선 멀티캐스트 서비스는 모든 수신 노드가 데이터를 수신하거나, 전송 횟수가 최대 전송 횟수에 도달할 때 까지, 송신 노드 및 정상적으로 데이터를 복호한 수신 노드가 데이터를 복호하지 못한 수신 노드로 협력적으로 데이터를 전송한다.
- [0024] HARQ를 이용하는 무선 멀티캐스트 서비스가 협력적으로 데이터를 전송 할 경우 협력 프로토콜에 따라 전체 시스템의 성능 이득이 달라진다. 즉 이전 시간 구간에서 정상적으로 데이터를 복호한 수신 노드가 다음 시간 구간에서는 송신 노드로서의 역할을 수행하는 일종의 릴레이 노드(relay node)로서 역할을 수행하므로, 각 시간 구간에 따라 송신 노드와 수신 노드의 개수가 달라 질수 있고, 결과적으로 전체 시스템의 성능 이득이 시간 구간에 따라 달라진다.
- [0025] 본 발명에서는 설명의 편의와 시스템의 복잡도 및 송신 노드와 수신 노드간의 신호 오버 헤드(signaling overhead)를 줄이기 위하여 가장 간단한 단순 신호 재전송 프로토콜을 이용하는 것으로 가정한다. 그러나 본 발명은 이에 한정되지 않고, 송신 노드와 수신 노드 사이에 분산 시공간 부호화(distributed space-time block coding) 기반 협력 기법 및 분산 빔포밍(distributed beamforming) 기반 협력 기법과 같은 프로토콜을

사용할 수도 있다.

- [0026] 이하, 본 발명의 무선 멀티캐스트 서비스의 최적화 방법을 설명한다. 무선 멀티캐스트 서비스의 최적화는 최소의 전송 횟수로, 전송 오류를 사용자가 원하는 값 이하로 제어하면서 데이터를 전송할 수 있는 최적의 전송량을 계산하여 달성할 수 있다.
- [0027] 본 발명에서는 무선 멀티캐스트 서비스의 최적화를 위하여 평균 최소 전송량(Expected Minimum Throughput)과 시스템 불능 제한값(System Outage Constraint)을 분석한다. 평균 최소 전송량은 오류 없이 수신되는 패킷의 전송률의 합으로 정의되며, 시스템 불능 제한값은 적어도 하나의 수신 노드가 최대 전송 횟수 동안 패킷을 정상적으로 디코딩하지 못할 확률로 정의 된다.
- [0028] 그리고 본 발명에서는 무선 멀티캐스트 서비스의 최적화를 위해서 평균 최소 전송량을 최대화하는 최적의 전송량을 계산하는 방법과 분석된 시스템 불능 제한값을 지정된 값 이내로 만족시키는 최적 전송량을 계산하는 방법의 2가지 방법을 제시한다.
- [0029] 평균 최소 전송량과 시스템 불능 제한값을 계산하기 위해서는 먼저 각 시간 구간에 대한 수신 노드들의 신호대 잡음비(SNR)를 산출해야 한다.
- [0030] 제n-1 시간 구간에서 정상적으로 신호를 복호한 수신 노드의 세트(set)를  $K_{n-1}$  이라고 할 경우 제n 시간 구간에서 제k(k 는 자연수) 수신 노드로 수신되는 수신 신호( $y_k(n)$ )는 수학적 식 1과 같이 정의된다.

**수학적 식 1**

[0031] 
$$y_k(n) = \tilde{h}_k(n)x + w(n)$$

여기서, 
$$\tilde{h}_k(n) = h_k(n)\sqrt{P_b} + \sum_{i \in \{k_1, \dots, k_{n-1}\}} h_{ik}(n)\sqrt{P_u}$$

그리고  $h_k(n) \sim CN(0, \rho_k)$  와  $h_{ik}(n) \sim CN(0, \rho_{ik})$  는 각각 송신 노드(BS)와 제k 수신 노드 사이의 채널, 제i(i는 자연수) 수신 노드와 제k 수신 노드 사이의 채널을 나타낸다. 그리고 각 채널의 분포는 평균이 0이고 분산이  $\rho_k$ ,  $\rho_{ik}$  인 복소 가우시안 분포를 나타낸다.  $P_b$  와  $P_u$  는 각각 송신 노드 전송 전력과 수신 노드의 전송 전력을 나타낸다. 여기서  $x \sim CN(0, 1)$  은 송신 노드와 정상적으로 복호한 수신 노드에서 전송되는 심볼(symbol)이고,  $w(n) \sim CN(0, 1)$  은 추가적인 화이트 가우시안 노이즈이다.

[0032] 삭제

[0033] 제n 시간 구간까지의 수신 신호를 최대비 결합(maximum ratio combining : MRC) 기법을 이용하여 조합한 후 복호할 경우에 제k 수신 노드의 수신 신호대 잡음비( $\gamma_{k,n}$ )는 수학적 식 2와 같이 표현된다.

수학식 2

$$\gamma_{k,n} = \widetilde{h_{k,n}^H} \widetilde{h_{k,n}}$$

여기서,  $\widetilde{h_{k,n}} = [\widetilde{h_k(1)}, \dots, \widetilde{h_k(n)}]$

[0034]

상기한 바와 같이 무선 멀티캐스트 서비스의 최적화를 위해서는 평균 최소 전송량과 시스템 불능 제한값을 분석해야한다.

[0035]

송신 노드의 초기 송신량을 R로 정의하고, 최대 전송 횟수를  $N_{\max}$ 로 정의 하며,  $p_{f,n}(R)$ 을 제n 시간 구간( $n=1, \dots, N_{\max}$ )에 K개의 수신 노드가 정상적으로 데이터 복호를 성공하여 멀티캐스트 전송을 중

[0036]

료할 확률이라고 정의하면, 평균 최소 전송량( $R_{\min}$ ) 수학식 3과 같이 정의 될 수 있으며, 시스템 불능 제한값( $P_{out}$ )은 수학식 4와 같이 정의 될 수 있다.

수학식 3

$$R_{\min}(R) = R \sum_{n=1}^{N_{\max}} \frac{p_{f,n}(R)}{n}$$

[0037]

수학식 4

$$P_{out}(R) = 1 - \sum_{n=1}^{N_{\max}} p_{f,n}(R)$$

[0038]

그리고 평균 최소 전송량( $R_{\min}$ )을 최대화 시키는 제1 최적 전송량을  $R_{\min}^0$ 로 정의하면, 제1 최적 전송량( $R_{\min}^0$ )은 수학식 5와 같이 계산된다.

[0039]

수학식 5

$$R_{\min}^0 = \max_R \{R_{\min}(R)\}$$

[0040]

즉 무선 멀티캐스트 서비스의 최적화하기 위한 제1 방안에 따른 제1 최적 전송량( $R_{\min}^0$ )은 수학식 5와 같이 계산된다.

[0041]

[0042] 그리고 사용자가 지정하는 시스템 불능 제한값( $P_{out}^0$ )을 만족시키는 제2 최적 전송량을  $R_{out}^0$ 로 정의하면, 무선 멀티캐스트 서비스의 최적화하기 위한 제2 방안에 따른 제2 최적 전송량( $R_{out}^0$ )은 수학식 6과 같이 표현된다.

수학식 6

[0043] 
$$R_{out}^0 \text{ where } P_{out}(R_{out}^0) = P_{out}^0$$

[0044] 이하 본 발명에서는 이상적인 채널 상태와 일반적인 채널 상태의 두 가지 채널 상태를 가정하고, 각각의 채널 상태에 따른 제1 및 제2 최적 전송량( $R_{min}^0, R_{out}^0$ )을 계산한다.

[0045] 먼저 이상적인 채널 상태는 모든 채널의 상태가 동일한 조건을 갖는 경우를 나타낸다. 그리고 동일 조건의 채널 상태는 송신 노드와 K개의 수신 노드 사이의 평균 신호대 잡음비가  $\rho$ 로 동일하고, K개의 수신 노드 사이의 평균 신호대 잡음비가  $\rho$ 로 동일한 경우인 것으로 설명한다.

[0046] 상기한 이상적인 채널 상태는 수학식 7과 같이 표현될 수 있다.

수학식 7

[0047] 
$$\rho \triangleq \rho_k, k \in \mathcal{K}$$

[0048] 
$$\bar{\rho} \triangleq \rho_{ij}, i, j \in \mathcal{K}$$

[0049]  $k_i$ 를 제i 시간 구간에서 성공적으로 데이터를 복호한 수신 노드의 개수로 정의하면,  $k_0$ 는 제0 시간 구간(i=0)에서 성공적으로 데이터를 복호한 수신 노드의 수를 나타내며, 제0 시간 구간은 데이터를 전송하기 이전의 시간 구간이므로  $k_0=0$ 로 설정될 수 있다.

[0050] 그리고 제n 시간 구간까지 하나의 수신 노드에 대한 전송이 성공할 확률을 ( $p_s(k_0, \dots, K_{n-1})$ )로 표현하면, 전송이 성공할 확률( $p_s(k_0, \dots, K_{n-1})$ )은 n이 1인 경우와 n이 2 이상인 경우로 구분하여 각각 수학식 8 및 9와 같이 표현될 수 있다.

수학식 8

[0051] 
$$p_s(k_0) = \Pr(\gamma_{k,1} > \gamma) = e^{-\gamma/\bar{P}_b}$$

[0052] 여기서,  $\gamma = 2^R - 1$  이고,  $\bar{P}_b \triangleq \rho P_b$  이다.

[0053] 수학적 식 8을 참조하면, 제n 시간 구간에 하나의 수신 노드에 대한 전송이 성공할 확률( $p_s(k_0)$ )은 채널 용량( $\log_2(1+\gamma_{k,1})$ )가 초기 송신량(R)보다 클 확률로 표현된다.

수학적 식 9

$$p_s(k_0, \dots, k_{n-1}) = \Pr(\gamma_{k,n} > \gamma, \gamma_{k,n-1} < \gamma) \\ = \Pr(\gamma_{k,n-1} < \gamma) - \Pr(\gamma_{k,n} < \gamma)$$

[0054]

[0055] 그리고 수학적 식 9를 참조하면, 제n 시간 구간까지 하나의 수신 노드에 대한 전송이 성공할 확률( $p_s(k_0, \dots, k_{n-1})$ )은 제n-1 시간 구간까지의 수신 노드에 대한 추적 결합(Case Combining)을 수행한 이후, 채널 용량( $\log_2(1+\gamma_{k,n-1})$ )이 초기 송신량(R)보다 작고, 동시에 제n 시간 구간까지의 수신 노드에 대한 추적 결합을 수행한 이후 채널 용량( $\log_2(1+\gamma_{k,n})$ )이 초기 송신량(R)보다 클 확률로 표현된다.

[0056] 그리고 "A. Bletsas, H. Shin, Mand. Z. Win, "Cooperative communications with outage-optimal opportunistic relaying," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 6, pp. 3450-3460, Sep. 2007."에서 유추되는 지수 분포(exponential distribution)의 합에 대한 누적 밀도 함수(cumulative density function)를 적용하면, 불능 확률( $\Pr(\gamma_{k,n-1} < \gamma)$ )은 수학적 식 10과 같이 유추된다.

수학적 식 10

$$\Pr(\gamma_{k,n} < \gamma) \\ = 1 - \sum_{i=1}^{\rho(A)} \sum_{j=1}^{\tau_i(A)} \sum_{m=0}^{j-1} \frac{\chi_{i,j}(A)}{m!} \left(\frac{\gamma}{\lambda_{<i>}}\right)^m e^{-\gamma/\lambda_{<i>}}$$

[0057]

[0058] 여기서  $A = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$ ,  $\lambda_n = P_b + \left(\sum_{i=0}^{n-1} k_i\right) P_u$ ,  $P_u \triangleq \rho P_u$

[0059]  $\rho(A)$ 는 대각 행렬 A의 특이 대각 원소(distinct diagonal elements)의 개수이며,  $\lambda_{<1>} > \dots > \lambda_{<\rho(A)>}$ 는 내림차순 정렬된 특이 대각 원소들이고,  $\tau_i(A)$ 는  $\lambda_{<i>}$ 의 중복 개수이고,  $\chi_{i,j}(A)$ 는 대각 행렬 A의 특성 계수(characteristic coefficient)이다. 그리고 특성 계수  $\chi_{i,j}(A)$ 는 수학적 식 11과 같이 나타난다.



수학식 11

$$\mathcal{X}_{i,j}(\mathbf{A}) = \frac{1}{w_{i,j}! \lambda_{\langle i \rangle}^{w_{i,j}}} \left[ \frac{d^{w_{i,j}}}{dv^{w_{i,j}}} \left\{ \prod_{m=1, m \neq i}^{e(\mathbf{A})} (1 + v \lambda_{\langle i \rangle})^{-\tau_i(\mathbf{A})} \right\} \right] \Big|_{v = -\frac{1}{\lambda_{\langle i \rangle}}}$$

[0060]

[0061] 여기서  $w_{i,j} = \tau_i(A) - j$  이다.

[0062] 그리고 대각 원소  $(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$ 가 모두 특이 원소인 특별한 경우의 불능 확률  $(\Pr(\gamma_{k,n-1} < \gamma))$ 은 수학식 12로 표현된다.

수학식 12

$$\Pr(\gamma_{k,n} < \gamma) = 1 - \sum_{i=1}^n \left\{ \prod_{j=1, j \neq i}^n \left( 1 - \frac{\lambda_j}{\lambda_i} \right)^{-1} \right\} e^{-\gamma/\lambda_i}$$

[0063]

[0064] 수학식 12의 불능 확률  $(\Pr(\gamma_{k,n-1} < \gamma))$ 은 제1 전송 시간 구간부터 제n-1 전송 시간 구간까지 각 전송 시간 구간에서 정상적으로 복호를 성공한 수신 노드가 적어도 하나 존재할 때  $(k_i \neq 0 \text{ for } i=1, \dots, n-1)$ 의 확률이다.

[0065] 그리고, 대각 원소가 모두 동일한 경우()에 불능 확률  $(\Pr(\gamma_{k,n-1} < \gamma))$ 은 수학식 13과 같이 표현된다.

수학식 13

$$\Pr(\gamma_{k,n} < \gamma) = 1 - \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{i!} \left( \frac{\gamma}{\lambda} \right)^i e^{-\gamma/\lambda}$$

[0066]

[0067] 수학식 13의 불능 확률  $(\Pr(\gamma_{k,n-1} < \gamma))$ 은 제1 전송 시간 구간부터 제n-1 전송 시간 구간까지 정상적으로 복호를 성공한 수신 노드가 없을 때  $(k_i = 0 \text{ for } i=1, \dots, n-1)$ 의 확률이다.

[0068] 그러면, 수학식 3의 제n 시간 구간  $(n=1, \dots, N_{\max})$ 까지 K개의 수신 노드가 정상적으로 데이터를 복호하여 멀티캐스트 전송이 종료될 확률  $(p_{f,n}^{(R)})$ 은 수학식 14와 같이 유추된다.

수학식 14

$$p_{f,1}(R) = (p_s(k_0))^K$$

[0069]

$$p_{f,n}(R) = \sum_{k_1=0}^{K-1} \binom{K}{k_1} \left( \sum_{k_2=0}^{K-1-k_1} \binom{K-k_1}{k_2} \left( \dots \sum_{k_{n-1}=0}^{K-1-\sum_{i=1}^{n-2} k_i} \binom{K-\sum_{i=1}^{n-2} k_i}{k_{n-1}} \right. \right. \\ \left. \left. \times \prod_{i=1}^{n-1} (p_s(k_0, \dots, k_{i-1}))^{k_i} (p_s(k_0, \dots, k_{n-1}))^{K-\sum_{j=1}^{n-1} k_j} \right) \right), \quad n \geq 2 \text{ 인 경우}$$

[0070]

[0071] 수학식 14에서 멀티캐스트 전송이 종료될 확률( $p_{f,1}(R)$ )은 K개의 수신노드가 제1 시간 구간에서 동시에 데이터를 복호하는데 성공할 때 유도된다. 그리고 제n( $\geq 2$ ) 시간 구간에서 멀티캐스트 전송이 종료될 확률( $p_{f,n}(R)$ )은 제i 시간 구간 및 제n 시간 구간에서 정상적으로 복호한 수신 노드의 수가 각각  $k_i \in \{0, \dots, K-1-\sum_{j=1}^{i-1} k_j\}, i=1, \dots, n-1$  및  $k_n = K - \sum_{i=1}^{n-1} k_i$  인 모든 가능한 확률의 합계로서 계산된다.

[0072] 그리고 수학식 14에서 도출되는 데이터 복호를 성공할 확률( $p_{f,n}(R)$ )을 수학식 5에 대입하면, 제1 최적 전송량( $R^{\circ}_{\min}$ )을 계산할 수 있다. 한편 수학식 14에서 도출되는 데이터 복호를 성공할 확률( $p_{f,n}(R)$ )을 수학식 4에 대입하면, 협력적 HARQ를 이용하는 무선 멀티캐스트 서비스의 시스템 불능 제한값( $P^{\circ}_{\text{out}}$ )을 계산할 수 있으며, 계산된 시스템 불능 제한값( $P^{\circ}_{\text{out}}$ )을 수학식 6에 적용하여, 사용자가 지정하는 시스템 불능 제한값( $P^{\circ}_{\text{out}}$ )을 만족시키는 제2 최적 전송량( $R^{\circ}_{\text{out}}$ ) 계산할 수 있다.

[0073] 즉 모든 채널의 상태가 동일한 조건을 갖는 이상적인 채널 상태에서의 무선 멀티캐스트 서비스 시스템을 최적화할 수 있다.

[0074] 이하, 일반적인 채널 상태에 따른 제1 및 제2 최적 전송량( $R^{\circ}_{\min}, R^{\circ}_{\text{out}}$ )을 계산한다.

[0075] 일반적인 채널 상태는 각 채널의 상태가 다른 조건을 갖는 경우를 나타내며, 송신 노드와 K개의 수신 노드 사이 및 K개의 수신 노드 사이의 신호대 잡음비가 서로 다르다. 즉 송신 노드와 K개의 수신 노드 사이의 신호대 잡음비( $\rho_k(k=1, \dots, K)$ )가 서로 다르고, K개의 수신 노드 사이의 신호대 잡음비( $\rho_{ij}(i,j=1, \dots, K)$ )가 서로 다르다.

[0076] 일반적인 채널 상태에 따른 제1 및 제2 최적 전송량( $R^{\circ}_{\min}, R^{\circ}_{\text{out}}$ )을 계산하기 위해 먼저, 제n 시간 구간의 패킷 전송 시에 성공적으로 신호를 복호하는 사용자의 세트를  $K_p, \dots, K_{n-1}$ 로 정의한다. 그리고 제k 수신 노드가

제 $n$  시간 구간까지 복호에 성공할 확률을  $p_{s,k}(K_0, \dots, K_{n-1})$  로 정의하고, 이때의 평균 신호대 잡음비를  $\lambda_{k,n}$  으로 정의한다.

[0077] 그러면 평균 신호대 잡음비( $\lambda_{k,n}$ )는 수학적 식 15와 같이 표현된다.

**수학적 식 15**

[0078] 
$$\lambda_{k,n} \triangleq \rho_k P_b + \sum_{j \in \{\mathcal{K}_1, \dots, \mathcal{K}_{n-1}\}} \rho_{jk} P_u$$

[0079] 수학적 식 10 및 12의 신호대 잡음비( $\lambda_{k,n}$ )를 수학적 식 15의 신호대 잡음비( $\lambda_{k,n}$ )로 대체하여,  $n$  이 1 인 경우에

전송이 성공할 확률( $p_{s,k}(K_0)$ ) 및  $n$ 이 2 이상인 경우에 전송이 성공할 확률( $p_{s,k}(K_0, \dots, K_{n-1})$ )을 유추할 수 있다.

그러면 결과적으로 멀티캐스트 전송이 종료될 확률( $P_{f,n}(R)$ )은 수학적 식 16과 같이 도출할 수 있다.

**수학적 식 16**

[0080] 
$$P_{f,1}(R) = \prod_{k=1}^K p_{s,k}(\mathcal{K}_0)$$

[0081] 
$$P_{f,n}(R) = \sum_{\substack{\mathcal{K}_i = \emptyset \text{ or } \mathcal{K}_i \subseteq \mathcal{K} \setminus \{\mathcal{K}_0, \dots, \mathcal{K}_{i-1}\}, \\ \text{for } i=1, \dots, n-1}} \prod_{k_n \in \mathcal{K} \setminus \{\mathcal{K}_1, \dots, \mathcal{K}_{n-1}\}} p_{s,k_1}(\mathcal{K}_0) \cdots p_{s,k_n}(\mathcal{K}_0, \dots, \mathcal{K}_{n-1})$$
,  $n \geq 2$  인 경우

[0082] 수학적 식 16에서 멀티캐스트 전송이 종료될 확률( $P_{f,1}(R)$ )은  $K$ 개의 수신노드가 제1 시간 구간에서 동시에 데이터를 복호하는데 성공할 때 유도된다. 그리고 제 $n$ ( $\geq 2$ ) 시간 구간에서 멀티캐스트 전송이 종료될 확률

( $P_{f,n}(R)$ )은 제 $i$  시간 구간 및 제 $n$  시간 구간에서 정상적으로 복호한 수신 노드의 수가 각각  $k_i \in \mathcal{K}_i$ 와  $k_n \in \mathcal{K} \setminus \{\mathcal{K}_1, \dots, \mathcal{K}_{n-1}\}$  인 모든 가능한 확률의 합계로서 계산된다. 여기서,  $\mathcal{K}_i = \emptyset$  또는  $\mathcal{K}_i \subseteq \mathcal{K} \setminus \{\mathcal{K}_1, \dots, \mathcal{K}_{i-1}\}$  이다.

[0083] 그리고 상기한 이상적인 채널 상태와 마찬가지로, 수학적 식 16의 데이터 복호를 성공할 확률( $P_{f,n}(R)$ )을 수학적 식 5에 대입하면, 일반적인 채널 상태에서 협력적 HARQ를 이용하는 무선 멀티캐스트 서비스의 제1 최적 전송량

( $R^{\circ}_{\min}$ )을 계산할 수 있고, 수학적 식 4에 대입하면, 시스템 불능 제한값( $P^{\circ}_{\text{out}}$ )을 계산할 수 있다. 그리고 계

산된 시스템 불능 제한값( $P^{\circ}_{\text{out}}$ )을 수학적 식 6에 적용하여, 사용자가 지정하는 시스템 불능 제한값( $P^{\circ}_{\text{out}}$ )을

만족시키는 제2 최적 전송량( $R^{\circ}_{\text{out}}$ )을 계산 할 수 있다. 따라서 일반적인 채널 상태에서의 무선 멀티캐스트

서비스 시스템을 최적화 할 수 있다.

[0084] 도 3은 본 발명의 무선 멀티캐스트 서비스의 최적화 방법을 적용하여, 전송량에 따른 평균 최소 전송량을 시뮬레이션한 도면으로, 도3 에서는 본 발명의 협력적 HARQ를 이용하는 무선 멀티캐스트 서비스의 최적화 방법과 HARQ를 이용하지만 수신 노드들이 협력적으로 데이터를 전송하지 않는 기존의 무선 멀티 캐스트 서비스를 비교하여 도시하였다.

[0085] 그리고 도 3에서는 수신 노드가 3개(K=3)이고 송신 노드로부터 3개의 수신 노드까지의 신호대 잡음비가 10dB 이고 수신 노드들 사이의 신호대 잡음비가 20dB인 경우에 전송량( $R$ )에 따른 평균 최소 전송량( $R_{min}$ )을 도  
시하였다. 즉 도 3에서는 시뮬레이션의 편의를 위하여 이상적인 채널 상태에서의 평균 최소 전송량( $R_{min}$ )을 도시하였다.

[0086] 도3 에 도시된 바와 같이 재전송이 없는 경우( $N_{max}=1$ )에는 전송량( $R$ )에 따른 본 발명의 무선 멀티 캐스트 서비스와 기존의 무선 멀티 캐스트 서비스는 성능이 동일하다. 이는 최초 전송 시에는 협력적 HARQ를 이용하는 무선 멀티캐스트 서비스에서도 송신 노드만이 데이터를 송신하기 때문이다. 그러나 재전송이 1번 있는 경우( $N_{max}=2$ )에 제안하는 방안이 기존 방안 대비 모든 전송량( $R$ )에 대하여 높은 평균 최소 전송량( $R_{min}$ )을 가지는 것을 확인할 수 있다. 재전송이 없는 경우( $N_{max}=1$ )에 기존 방안과 제안하는 방안에서 평균 최소 전송량을 최대화하는 제1 최적 전송량( $R_{min}^o$ )은 전송량( $R$ )이 1.2로 동일하고 전송량( $R$ )에 따른 평균 최소 전송량( $R_{min}$ )은 0.67로 동일하다. 또한 재전송이 1번 있는 경우( $N_{max}=2$ ) 무선 멀티 캐스트 서비스와 본 발명의 무선 멀티 캐스트 서비스의 평균 최소 전송량( $R_{min}$ )을 최대화하는 제1 최적 전송량( $R_{min}^o$ )과 이에 따른 평균 최소 전송량( $R_{min}$ )은 1.9, 1.05 이고 3.2, 1.45이므로 본 발명의 무선 멀티캐스트 서비스의 최적화 방법의 이득이 큼을 확인 할 수 있다.

[0087] 도 4 내지 도 6은 각각 도 3은 본 발명의 무선 멀티캐스트 서비스의 최적화 방법을 적용하여, 수신노드의 수 K를 1명에서 50명으로 변화시키면서 평균 최소 전송량을 시뮬레이션 하였다. 그리고 HARQ 재전송 횟수( $N_{max}$ )를 1~3으로 변화시켜감에 따른 본 발명의 무선 멀티 캐스트 서비스와 기존의 무선 멀티 캐스트 서비스의 성능 비교를 수행하였다. 도 4 내지 도 6에서는 수신 노드를 사용자(user)로 표현하였다.

[0088] 도 4에서는 송신 노드와 수신 노드 사이의 신호대 잡음비가 10dB이고 수신 노드간의 신호대 잡음비가 0dB인 경우 수신 노드 수에 따른 평균 최소 용량을 나타내었다. 본 발명의 무선 멀티 캐스트 서비스는 HARQ 재전송을 하지 않을 경우 ( $N_{max}=1$ ) 기존과 동일한 성능을 보인다. 이는 재전송을 하지 않을 경우 수신 노드간의 협력 전송을 할 수 없기 때문이다. HARQ 재전송을 1번 허용 할 경우 ( $N_{max}=2$ )에 본 발명과 기존 발명과의 성능은 전송 횟수( $N_{max}$ )가 1인 경우 보다 증가하는 것을 확인 할 수 있고 본 발명의 무선 멀티 캐스트 서비스의 성능 증가 폭이 기존의 무선 멀티 캐스트 서비스보다 더욱 큼을 확인 할 수 있다. 본 발명은 수신 노드의 수가 증가함에 따라 평균 최소 전송량의 감소폭이 감소함을 확인 할 수 있는데 이는 수신 노드 수 증가에 따라 협력을 할 수 있는 수신 노드 수가 증가하므로 성능 증가의 폭이 크기 때문이다. 따라서 수신 노드의 증가에 따른 기존 멀티캐스트 서비스의 성능 감소를 수신 노드간의 협력 전송을 함으로써 극복할 수 있는 예가 된

다. HARQ 재전송 횟수를 2번으로 증가 시켜 제안하는 방안과 기존 방안을 비교 하였는데 전체적인 경향은 HARQ 재전송을 1번 한 경우가 비슷한 것을 확인 할 수 있다.

[0089] 도 5는 수신 노드간의 신호대 잡음비가 10dB인 경우의 결과이다. 도 5를 도 4에 비교 해 보면 송신 노드와 수신 노드간의 신호대 잡음비는 10dB로 동일하기 때문에  $N_{\max}=1$  인 경우의 성능은 도 4와 동일함을 확인할 수 있다. 그러나 본 발명의 무선 멀티 캐스트 서비스는 수신 노드간의 신호대 잡음비가 높을수록 성능을 얻을 수 있다. 따라서 그림 4에서  $N_{\max}=2$ ,  $N_{\max}=3$  일 경우 대비하여 도 5에서는 더 높은 성능을 얻는다. 또한 도 5에서는 송신 노드와 수신 노드간의 신호대 잡음비가 수신 노드 간의 신호대 잡음비와 동일하기 때문에 사용자가 증가함에 따른 멀티캐스트 성능의 감소 효과를 사용자 협력으로 상쇄시킬 수 있기 때문에 사용자가 증가함에 따라 평균 최소 전송량이 일정해 짐을 알 수 있다.

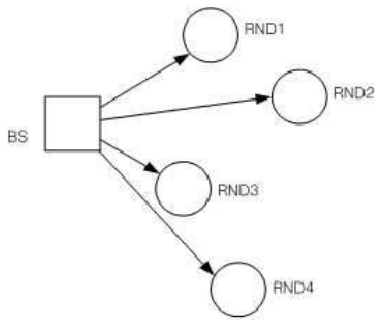
[0090] 도 6은 송신 노드로부터 신호대 잡음비가 10dB이고 수신 노드간의 신호대 잡음비가 20dB인 경우의 결과를 나타내고 이는 송신 노드로 부터의 신호대 잡음비 보다 수신 노드간의 신호대 잡음비가 높은 경우의 결과이다. 본 발명의 무선 멀티 캐스트 서비스는  $N_{\max}=2$ ,  $N_{\max}=3$  일 경우 수신 노드의 수가 1보다는 크지만 적은 경우 멀티캐스트 서비스가 최소 용량의 사용자에게 의해 제한되기 때문에 성능의 감소가 있다. 그러나 수신 노드의 수가 어느 정도 큰 경우 멀티캐스트 서비스가 최소 용량의 수신 노드에 의해 제한됨으로써 감소하는 성능 대비 협력으로 인해 증가하는 성능이 폭이 크기 때문에 사용자 증가에 따라 성능의 증가를 보이는 구간을 확인할 수 있다.

[0091] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다.

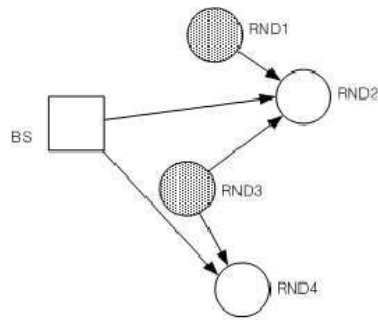
[0092] 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 등록청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

도면

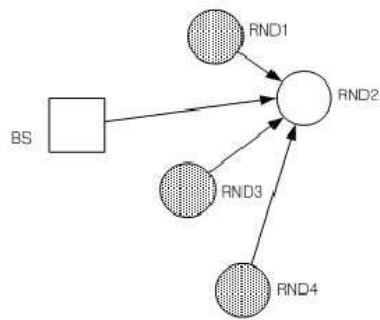
도면1



(a)

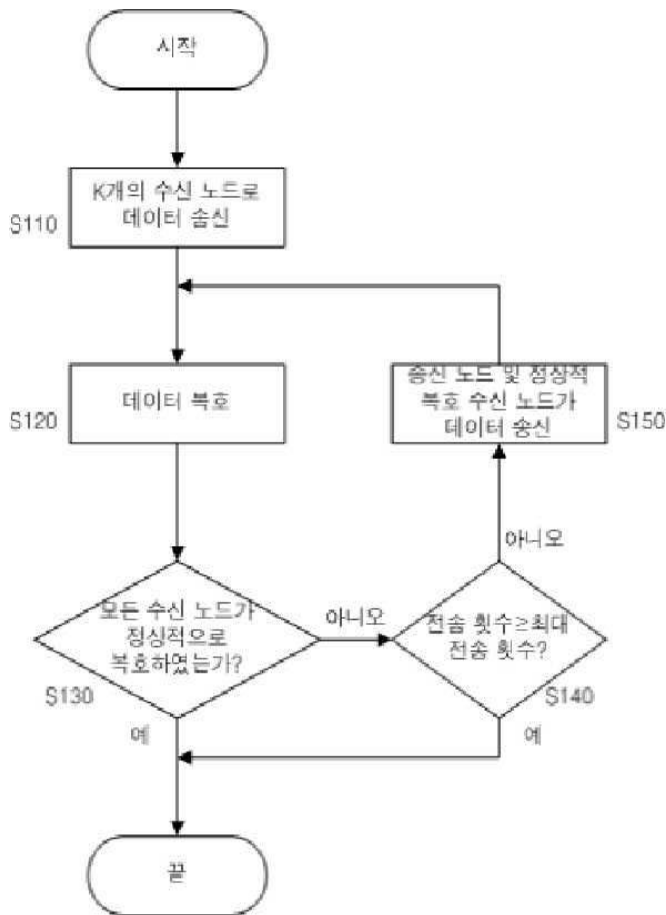


(b)

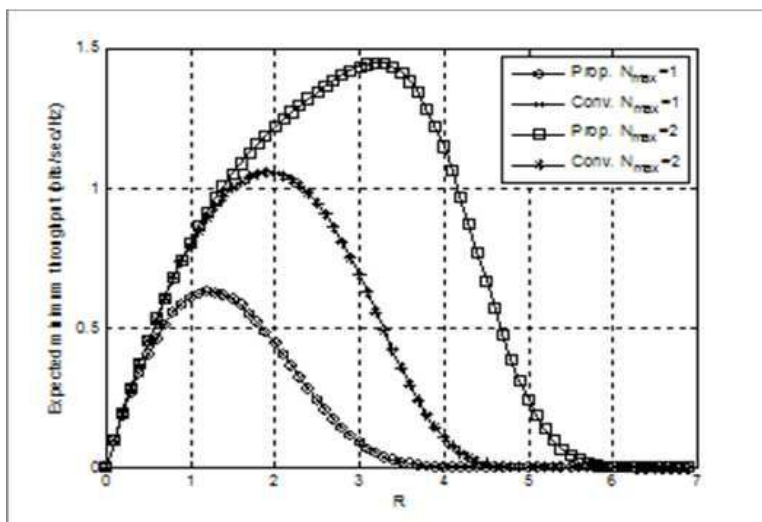


(c)

도면2

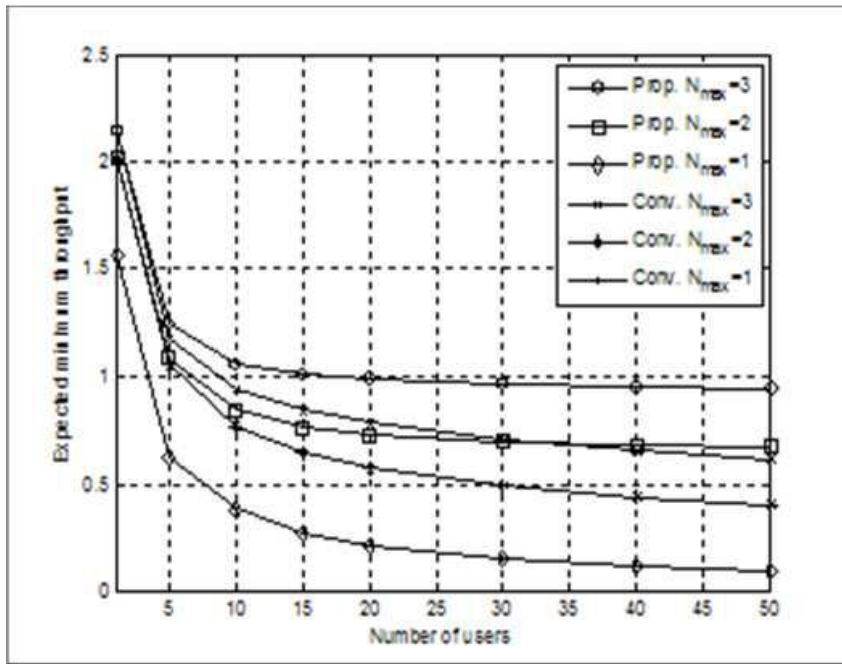


도면3

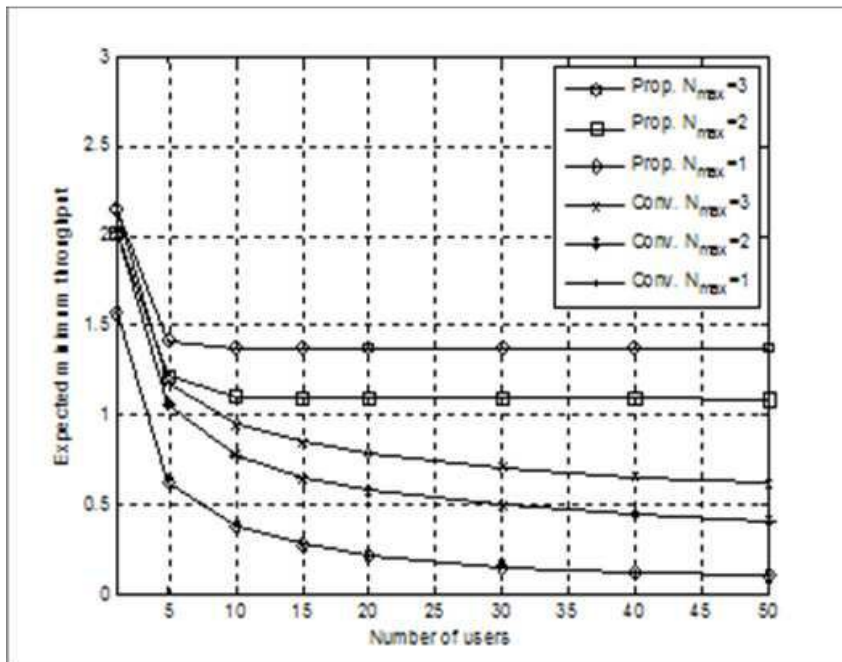


R

도면4



도면5





도면6

