

# OFDM 기반의 디지털 이중화 시스템을 위한 자원 관리 기법

정회원 박 창 환\*, 김 무 철\*, 고 요 한\*, 박 경 원\*\*, 전 원 기\*\*, 백 중 호\*\*,  
이 석 필\*\*\*, 종신회원 조 용 수\*

## A Resource Management Technique for OFDM-based Digital Duplex Systems

Chang Hwan Park\*, Moo Chul Kim\*, Yo Han Ko\*, Kyung Won Park\*\*, Won Gi Jeon\*\*,  
Jong Ho Paik\*\*, Seok Pil Lee\*\* *Regular Members*, Yong Soo Cho\* *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문에서는 OFDMA 기반의 디지털 이중화 방식을 위한 자원 관리 기법을 제안한다. 제안된 자원 관리 기법은 CS(Cyclic Suffix)를 사용하지 않으면서 TDoA(Time Difference of Arrival)에 의한 ISI(Inter Symbol Interference)와 ICI(Inter Carrier Interference)의 영향을 최소화 하며, SS(Subscriber Station)에 수신되는 신호의 dynamic range를 줄인다. 제안된 자원 관리 기법은 ADC(Analog to Digital Converter)의 비트 수를 줄이며, SINR(Signal to Interference and Noise Ratio)를 크게 향상시킴을 모의실험을 통하여 확인한다.

**Key Words** : Digital Duplex, SDD, TDoA, Grouping

### ABSTRACT

In this paper, a resource management technique for digital duplexing (DD) systems using orthogonal frequency division multiple access (OFDMA) is proposed. The proposed technique can reduce the dynamic range of the signal received at the subscriber station (SS) and minimize the effects of inter-symbol interference (ISI) and inter-carrier interference (ICI) due to the time difference of arrival (TDoA) without using a cyclic suffix. It is shown by computer simulation that the proposed technique can reduce the number of bits for an analog-to-digital converter (ADC) and increase the signal-to-interference and noise ratio (SINR) significantly.

### I. 서 론

현재 통신 시스템의 이중화 방식에는 FDD와 TDD, Zipper 등이 있으며<sup>[1]</sup>, 최근에는 OFDM 기반의 디지털 이중화 방식으로 ODD(Orthogonal Division Duplexing)와 OFDD(Orthogonal Frequency Division

Duplexing), SDD(Synchronous Digital Duplexing) 방식이 제안되었다<sup>[2~4]</sup>. 디지털 이중화 방식은 TDD와 FDD에서 발생하는 보호시간 및 보호대역으로 인한 자원의 손실을 극복하고 상·하행링크의 자원 할당을 유연하게 함으로써 이중화 지연을 극복하기 위한 것으로, 무선 환경에서 자원 활용의 효율을 최

※ 본 연구는 전자부품연구원과 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원(R01-2008-000-10406-0)을 받아 이루어졌습니다.

\* School of Electrical & Electronic Engineering, Chung-Ang University, KOREA(yscho@cau.ac.kr)

\*\* Advanced Mobile Technology Research Center, Korea Electronics Technology Institute, KOREA

\*\*\* Broadcasting · Communication Convergence Research Center, Korea Electronics Technology Institute, KOREA

논문번호 : KICS2009-07-318, 접수일자 : 2009년 7월 30일, 최종논문접수일자 : 2009년 11월 10일

대화하기 위한 기법이다. 디지털 이중화 시스템에서는 현실적인 적용을 위하여 다음과 같은 내용들이 고려되고 있다.

첫번째, 하향링크 신호를 수신하는 사용자는 인접한 사용자로부터 비선형 소자인 ADC의 선형입·출력 범위를 초과하는 높은 전력의 상향링크 신호를 수신할 수 있으며, 이는 하향링크 신호복원에 심각한 문제를 일으킨다. 따라서 기존의 디지털 이중화 방식은 넓은 범위의 선형 동작 구간과 많은 출력 비트수를 갖는 ADC를 필요로 하며, 이를 극복하기 위하여 [3]에서 보호대역과 필터를 사용하는 방법이 제안되었다.

두번째, 일반적으로 상향링크 신호는 기지국과 시간 동기를 맞추기 위하여 하향링크 신호보다 먼저 송신되기 때문에 상·하향링크 사이에 TDoA (Time Difference of Arrival)를 발생시키며, 이는 IBI(Inter Block Interference)를 발생시켜 심각한 성능 열화를 일으킨다. 이를 극복하기 위하여 [4]에서는 추가적인 보호구간을 사용하였으며, 이에 따른 자원 효율이 비교되었다.

그러나 이와 같은 방법들은 구현 복잡도가 높고, 고가의 ADC를 필요로 하며, 간섭완화를 위해 추가적인 보호대역과 보호구간을 사용함으로써 자원 효율의 손실을 초래한다. 본 논문에서는 상·하향링크 자원 할당에 앞서 사용자들을 그룹핑(grouping)하고 각 사용자의 상향링크 송신 시간을 조절함으로써 추가적인 보호대역 및 보호구간을 사용하지 않으면서 낮은 양자화 오차를 가지고, TDoA에 의한 간섭의 영향을 최소화하는 자원 관리 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 사용자간의 상호 정보를 필요로 하기 때문에 새로운 사용자의 유입이 거의 없으며 채널의 변화가 빠르지 않은 옥내 환경에 적합하다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서는 하나의 AP(Access Point)와  $S$  개의 SS(Subscriber Station)를 갖는 옥내환경에서 OFDM 기반의 디지털 이중화 시스템을 고려하며, AP는 상·하향링크 신호를 동시에 송·수신할 수 있는 전이중(full-duplex) 시스템을 가정하고, 각 SS는 반이중(half-duplex) 시스템을 가정한다. 동일한 OFDM 심볼내에서  $U$  개의 SS와  $D$  개의 SS에 상·하향링크 자원이 할당되면, 다음과 같이 서로 다른  $U$  개와  $D$  개의 SS로 구성된 집합  $\mathbf{A}_U$ 와

$\mathbf{B}_D$ 를 정의할 수 있다.

$$\mathbf{A}_U = \{A_1, A_2, \dots, A_U\} \quad (1)$$

$$\mathbf{B}_D = \{B_1, B_2, \dots, B_D\} \quad (2)$$

여기서  $1 \leq A_u \leq S$ 와  $1 \leq B_d \leq S$ 는 SS의 인덱스를 나타내며,  $U = S$  또는  $D = S$ 인 경우는 동일한 OFDM 심볼내에서 상·하향링크 자원 할당이 동시에 이루어지지 않는 기존의 이중화 방식과 같다.

그림 1은  $R$  반경의 서비스 영역을 갖는 AP와 2개의 SS( $S = 2$ )를 갖는 옥내환경에서 상·하향링크 신호의 송·수신 전력을 보여주며,  $A_u$  번째와  $B_b$  번째 SS는 각각 상향링크와 하향링크 신호를 송·수신한다( $U = 1, D = 1$ ). 여기서  $d_{0,a}$ 와  $d_{a,b}$ 은 각각 AP와  $A_u$  번째 SS,  $A_u$  번째와  $B_b$  번째 SS 사이의 거리를 나타낸다.  $P'_0$ 은 AP의 송신 전력을 나타내며 다음과 같이 주어진다.

$$P'_0 = \min(P_{\max}^0, \eta_e + \eta_t + \Gamma(R)) \text{ [dB]} \quad (3)$$

여기서  $P_{\max}^0$ 은 AP의 최대 허용 송신 전력을 나타내며,  $\eta_e$ 와  $\eta_t$ 는 각각 셀 경계에 위치한 SS의 목표 SNR과 열 잡음(thermal noise) 전력을 나타낸다.  $\Gamma(d)$ 는 거리  $d$ 에 따른 경로손실을 나타낸다.  $A_u$  번째 SS의 송신 전력  $P'_a$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$P'_a = \min(P_{\max}^s, P'_0 + \Gamma(d_{0,a})) \text{ [dB]} \quad (4)$$

여기서  $P_{\max}^s$ 는 SS의 최대 허용 송신 전력을 나

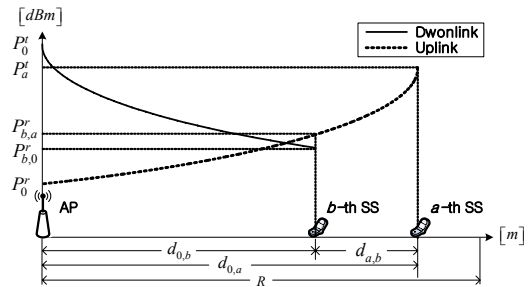


그림 1. 디지털 이중화 시스템에서 상·하향링크의 송·수신 전력

타내며,  $P_0^r$  은 AP에서 SS의 상향링크 송신 전력을 조절하기 위한 기준 수신 전력을 나타낸다.  $P_{0,b}^r$  와  $P_{a,b}^r$  은 각각  $B_b$  번째 SS에 수신되는 AP의 하향링크 신호 전력과  $A_a$  번째 SS의 상향링크 송신 전력을 나타내며 다음과 같이 주어진다.

$$P_{b,0}^r = P_0^r - \Gamma(d_{0,b}) \text{ [dB]} \quad (5)$$

$$P_b^r = \sum_{a \in \mathbf{A}_{U,\mu}} P_{b,a}^r = \sum_{a \in \mathbf{A}_{U,\mu}} P_a^r - \Gamma(d_{a,b}) \text{ [dB]} \quad (6)$$

AP와  $A_a$  번째 SS의 송신 신호는 시간영역에서 다음과 같이 주어진다.

$$x_0(n) = \frac{10^{P_0^r/20}}{N} \sum_{b \in \mathbf{B}_{U,\mu}, D,d} \sum_{k \in \mathbf{k}_b} X_0(k) e^{j \frac{2\pi kn}{N}} \quad (7)$$

$$x_a(n) = \frac{10^{P_a^r/20}}{N} \sum_{k \in \mathbf{k}_a} X_a(k) e^{j \frac{2\pi kn}{N}} \quad (8)$$

여기서  $N$  은 전체 부반송파 수를 나타내며,  $X_0(k)$  와  $X_a(k)$  는 각각 AP와  $A_a$  번째 SS에서  $k$  번째 부반송파에 할당된 데이터를 나타낸다. 또한,  $\mathbf{k}_a$  와  $\mathbf{k}_b$  는  $A_a$  번째와  $B_b$  번째 SS에 할당된 부반송파 집합을 나타내며, 여기서는 다중 사용자간 간섭을 회피하기 위하여 직교할당을 가정한다.

이때,  $B_b$  번째 SS에 수신되는 신호는 AWGN을 무시하는 경우에 다음과 같이 주어진다.

$$y_b(n; \mathbf{A}_{U,\mu}) = 10^{-\frac{\Gamma(d_{0,b})}{20}} \underbrace{\sum_{l=0}^{L_h-1} h_{0,b}(l) x_0(n-l-\delta_{0,b})}_{y_{b,0}(n)} + \sum_{a \in \mathbf{A}_{U,\mu}} 10^{-\frac{\Gamma(d_{a,b})}{20}} \underbrace{\sum_{l=0}^{L_h-1} h_{a,b}(l) x_a(n-l-\delta_{a,b})}_{y_{b,a}(n)} \quad (9)$$

여기서  $L_h$  는 채널응답의 최대 지연 샘플 수를 나타내고,  $\delta_{0,b}$  와  $\delta_{a,b}$  는 각각 AP로부터  $B_b$  번째 SS 까지 하향링크 전파 지연 시간과  $A_a$  번째 SS로부터  $B_b$  번째 SS까지 상향링크 전파 지연 시간을 나타낸다. 또한,  $h_{0,b}(l)$  와  $h_{a,b}(l)$  는 각각 AP와  $B_b$  번째 SS,  $A_a$  번째 SS와  $B_b$  번째 SS 사이에 채널응답의

$l$  번째 샘플을 나타낸다.

### III. 디지털 이중화 시스템을 위한 자원 관리 기법

본 절에서는 상·하향링크 자원 할당에 앞서 사용자들을 그룹핑하고 사용자의 상향링크 송신 시간을 조절함으로써 추가적인 보호대역 및 보호구간을 사용하지 않으면서 낮은 양자화 오차를 가지고, TDoA에 의한 간섭의 영향을 최소화하는 자원 관리 기법을 제안한다. 제안하는 자원 관리 기법은 다음의 2 가지 조건에 기반을 두고 있다.

첫번째, 디지털 이중화 시스템에서 하향링크 신호를 수신하는 사용자는 인접한 사용자로부터 높은 전력의 상향링크 신호를 수신할 수 있으며, 이로 인하여 수신신호는 비선형 소자인 ADC의 선형 입·출력 범위를 초과할 수 있으며, 양자화 오차 또한 크게 증가될 수 있다. 본 논문에서는 디지털 이중화 기법의 현실적인 구현을 고려하기 위하여 DUR (Desired-to-Undesired Power Ratio)을 정의한다. 기존의 이중화 방식에서 OFDMA 시스템의 하향링크 DUR과 디지털 이중화 방식에서  $B_b$  번째 SS의 은 하향링크 DUR은 각각 다음과 같이 주어진다.

$$\bar{\zeta} = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{U + D - 1} \right) \quad (10)$$

$$\zeta_b = 10 \log_{10} \left( \frac{10^{P_{b,0}^r/10}}{(D-1)10^{P_{b,0}^r/10} + \sum_{a \in \mathbf{A}_U} 10^{P_{a,0}^r/10}} \right) \quad (11)$$

이와 같이 디지털 이중화 시스템에서는 (10)과 달리  $\mathbf{A}_U$  에 따라  $B_b$  번째 SS의 DUR이 다르기 때문에  $\mathbf{A}_U$  와  $\mathbf{B}_D$  는  $\zeta_b \geq \bar{\zeta}$  를 만족하는 경우에만 동시에 상·하향링크 자원 할당이 이루어질 수 있다.

두번째, 일반적으로 상향링크 신호는 기지국과 시간 동기를 맞추기 위하여 하향링크 신호보다 먼저 송신된다. 따라서 디지털 이중화 시스템에서는 (9)에서  $y_{0,b}(n)$  와  $y_{a,b}(n)$  사이에 그림 2와 같이 TDoA(Time Difference of Arrival)  $\delta_{0,b}$  와  $\delta_{a,b}$  가 발생될 수 있으며, 이는 IBI(Inter Block Interference)를 발생시켜 심각한 성능 열화를 일으킨다. 이를 극복하기 위하여  $A_a$  번째 SS의 상향링크 송신시간을

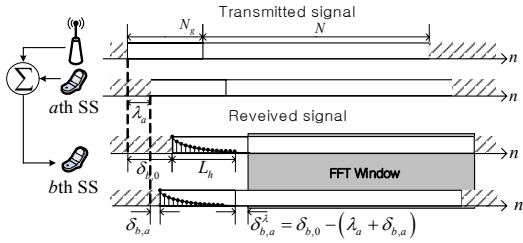


그림 2. 상·하향링크 사이에 TDoA에 의한 간섭

조절하여 TDoA에 의한 간섭을 완화시킬 수 있다.

여기서  $\lambda_a$ 는 AP의 하향링크 송신 시간을 기준으로  $A_a$  번째 SS의 상향링크 송신 시간을 나타내며, 이때  $B_b$  번째 SS 발생되는 TDoA  $\delta_{b,a}^\lambda$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\delta_{b,a}^\lambda = \delta_{b,0} - (\lambda_a + \delta_{b,a}) \quad (12)$$

$\delta_{b,a}^\lambda$ 의 범위에 따른 간섭전력  $p_i(\delta_{b,a}^\lambda)$ 은 이전 심볼 (previous symbol)과 다음 심볼(following symbol)의 간섭에 따라 [5]의 (2)와(4)를 사용하여 구할 수 있다. 이때,  $B_b$  번째 SS의 SINR  $\gamma_b$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\gamma_b = 10 \log_{10} \left( \frac{10^{P_{b,0}^{s}/10}}{\sum_{a \in A_U} 10^{P_{b,a}^{s}/10} p_i(\delta_{b,a}^\lambda) + \sigma_w^2} \right) \quad (13)$$

여기서  $\sigma_w^2$ 은 열 잡음 전력을 나타낸다. 이와 같이 디지털 이중화 방식에서  $B_b$  번째 SS의 SINR은

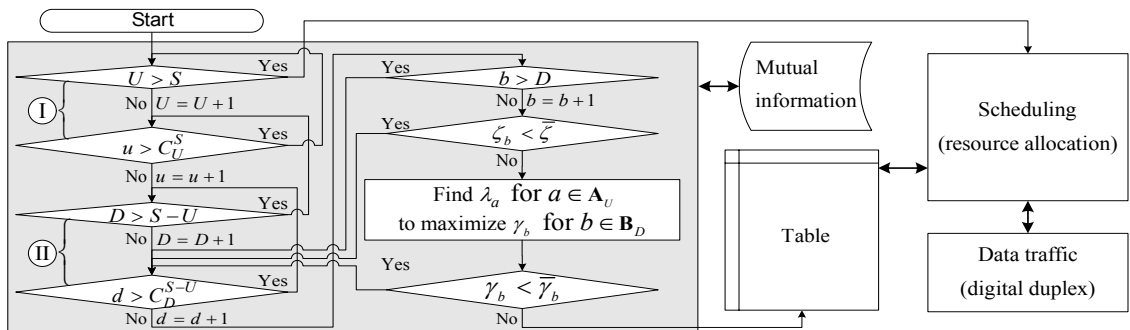
$A_U$ 의 상향링크 신호 전력과  $\lambda_a$ 에 의존적이다. 일반적으로 SINR의 감소는 변조 및 부호율에 영향을 미치며, 이는 전송률과 자원 효율을 감소시킨다.

따라서 제안하는 기법에서는 변조 및 부호율을 감소시키지 않도록  $\lambda_a$ 를 선정한다.  $B_b$  번째 SS의 변조 및 부호율에 해당하는 최소 요구 SINR  $\bar{\gamma}_b$  과 수신 SNR 차이를 최대 허용 간섭 전력이라고 가정하면, (13)에서  $B_D$ 에 포함된 모든 SS의 하향링크 SINR이  $\bar{\gamma}_b$  보다 큰 값을 갖도록  $A_U$ 에 포함된 각 SS의 상향링크 송신 시간을 설정할 수 있다. 이를 만족하지 못하는 경우에는 동일한 OFDM 심볼 내에서 상·하향링크 자원을 할당하지 않으므로써 TDoA에 의한 간섭을 완화시킬 수 있다.

표 1은 전송한 디지털 이중화 방식을 위한 자원 관리 기법의 순서도를 보여준다. 여기서 I는 S개의 SS 중에서 상향링크 자원 할당을 위한 U개의 SS를 구성하는 과정이며, 이때  $A_U$ 는  $C_U^S$ 개의 조합을 가질수 있다. II는 S-U개의 SS 중에서 하향링크 자원 할당을 위한 D개의 SS를 구성하는 과정이며,  $B_D$ 는  $C_D^{S-U}$ 개의 조합을 가질수 있다.

AP는  $B_D$ 에 포함된 모든 SS에 대하여 DUR을 구하고,  $\zeta_b < \bar{\zeta}$ 인 경우에는 다른 SS를 구성원으로 하는  $B_D$ 를 설정하기 위한 단계로 이동한다. 또한  $\zeta_b \geq \bar{\zeta}$ 인 경우에는  $B_D$ 에 포함된 SS 중에서 최소의 SINR을 최대화시키는 상향링크 송신 시간  $\lambda_a$ 의 조합을 찾는다. 획득된 SINR이  $\gamma_b < \bar{\gamma}_b$ 인 경우에는 다른 SS를 구성원으로 하는  $B_D$ 를 설정하기 위한 단계로 이동하고,  $\gamma_b \geq \bar{\gamma}_b$ 인 경우에는  $A_U$ 와  $B_D$ 를 상향링크 송신 시간과 함께 Table에 저장한

표 1. OFDMA 기반의 디지털 이중화 시스템에서 상·하향링크 자원 할당을 위한 순서도



다. 이와 같은 과정을 수행한 후에, AP는 Table에 기록된  $A_U$ 와  $B_D$ 에 대해서만 동일한 OFDM 심볼내에서 상·하향링크 자원 할당을 하고,  $A_U$ 에 포함된 SS는 Table에 기록된 시간에 상향링크 신호를 송신한다.

### V. 모의실험

본 절에서는 디지털 이중화 시스템의 성능을 DUR과 outage 관점에서 살펴봄으로써 제안된 디지털 이중화 시스템을 위한 자원 관리 기법이 현실적인 구현 가능성과 TDoA에 따른 간섭 완화에 이득이 있음을 확인한다.

모의실험에는 실내 무선랜을 위한 IEEE 802.11a의 물리계층 파라미터를 사용하였으며, 보호구간 보다 4배 짧은 rms 지연 확산을 갖는 지수 모델 PDP(power delay profile)와 17 샘플의 최대 지연 확산을 갖는 채널 모델을 가정하였다. 또한, AP와 SS의 최대 송신 전력은 각각 30dBm과 23dBm을 가정하였으며, 50m의 셀 반경을 갖는 옥내 환경을 위하여 다음과 같은 경로 손실 모델을 사용하였다.

$$\Gamma(d) = \begin{cases} 58.5 + 33 \log_{10}(d/8), & d \geq 8 \\ 40.2 + 20 \log_{10}(d), & d < 8 \end{cases} \quad (14)$$

그림 3은  $U=1$  또는  $U=2$ 인 경우에, DUR을 보여준다. 사용자 수가 증가함에 따라 제안된 기법이 적용된 디지털 이중화 방식(Proposed)과 기존의 디지털 이중화 방식(Conventional)의 DUR은 모두 감소하지만, 제안된 기법을 사용하는 경우에는 OFDMA 기반의 반이중 시스템(OFDMA) 보다 높은 DUR을 갖는 반면, 기존의 디지털 이중화 방식은 이보다 낮은 DUR을 갖는 것을 확인할 수 있다. 따라서 제안된 기법은 보다 낮은 ADC 출력 비트수를 필요로 함을 알 수 있다.

그림 4는  $U=1$  또는  $U=2$ 인 경우에, 최소 요구 SINR  $\gamma_b$ 에 따른 outage 확률을 보여준다. 모든 SS에서 요구되는 SINR은 동일하다고 가정하였으며,  $S=10$ 인 상황을 고려하였다. 제안된 기법이 적용된 디지털 이중화 방식(Proposed)은 기존의 디지털 이중화 방식(Conventional)과 비교하여  $U$ 에 관계없이 낮은 outage 확률을 갖는 것을 확인할 수 있다. 따라서 제안된 기법은 TDoA에 의한 상·하향링크 간 간섭을 완화시키는 것을 확인할 수 있다.

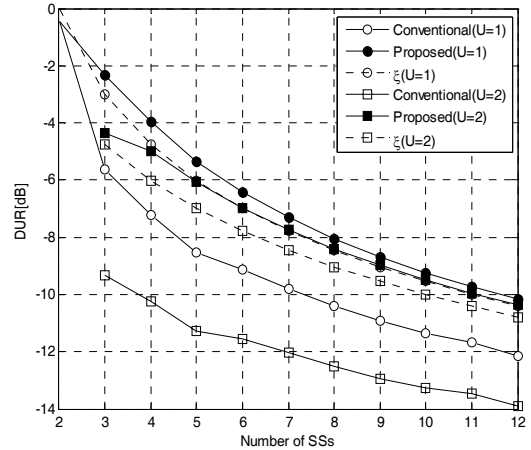


그림 3. SS의 수에 따른 DUR

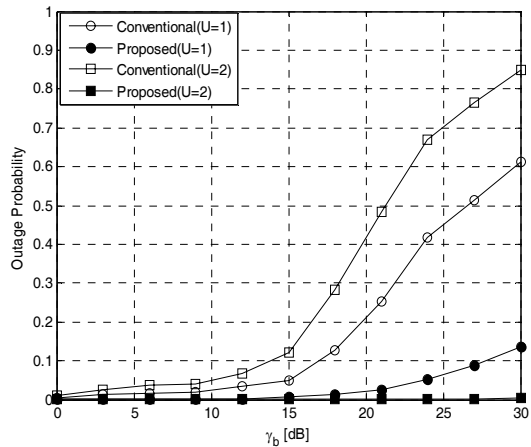


그림 4.  $\gamma_b$ 에 따른 outage 확률 ( $S=10$ )

### VI. 결론

본 논문에서는 OFDM 기반의 디지털 이중화 시스템을 위한 자원 관리 기법을 제안하였다. 제안된 자원 관리 기법은 디지털 이중화 시스템의 구현을 고려하여 인접한 사용자로부터 수신되는 상향링크 전력이 높은 경우에, 이를 회피하도록 상·하향링크 자원을 할당한다. 또한, 상향링크 송신 시간을 조절하여 상·하향링크간에 TDoA에 의한 IBI 영향을 최소화한다. 모의실험을 통하여 분석함으로써 제안된 자원 관리 기법은 기존의 디지털 이중화 기법과 비교하여 DUR과 SINR 측면에서 성능 향상이 발생 하는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] F. Sjöberg, M. Isaksson, R. Nilsson, P. Ödling, S. K. Wilson, and P. O. Börjesson, "Zipper: A Duplex Method for VDSL Based on DMT," IEEE Trans. Commun., Vol.47, Aug., 1999.
- [2] D. Steer, K. Teo and B. Kirkland, "Novel method for communications using orthogonal division duplexing of signals (ODD)," VTC' 2002, Vol.1, pp.381-385, Sep., 2002.
- [3] R. Kimura and S. Shimamoto, "An Orthogonal Frequency Division Duplex (OFDD) System Using an Analog Filter Bank," WCNC'2007, pp.2275-2280, Mar., 2007.
- [4] C. H. Park et al., "A Synchronous Digital Duplexing Technique for Wireless Transmission in Indoor Environments," VTC'2009, Apr., 2009.
- [5] Y. Mostofi and D.C. Cox, "Mathematical analysis of the impact of timing synchronization errors on the performance of an OFDM system," IEEE Trans. Commun., Vol.54, pp.226-230, Feb., 2006.

박 창 환 (Chang Hwan Park) 정회원



2005년 2월 중앙대학교 전자전  
기공학부(학사)  
2007년 2월 중앙대학교 전자전  
기공학부(석사)  
2007년 3월~현재 중앙대학교  
전자전기공학부 박사과정  
<관심분야> 디지털 신호처리,  
무선모뎀, OFDM 모뎀 설계,  
MMR 시스템

김 무 철 (Kim Moo Chul) 정회원



2008년 2월 중앙대학교 전자전  
기공학부(학사)  
2008년 3월~현재 중앙대학교  
전자전기공학부 석사과정  
<관심분야> 디지털 신호처리, 무  
선모뎀, OFDM 모뎀 설계

고 요 한 (Yo Han Ko) 정회원



2005년 2월 중앙대학교 전자전  
기공학부(학사)  
2007년 2월 중앙대학교 전자전  
기공학부(석사)  
2007년 3월~현재 중앙대학교 전  
자전기공학부 박사과정  
<관심분야> 통신, OFDM, MIMO

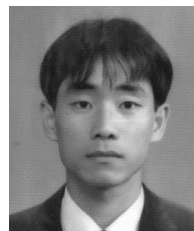
박 경 원 (Kyung-won Park) 정회원



1999년 2월 중앙대학교 전기공  
학과 공학사  
2001년 2월 중앙대학교 전기공  
학과 공학석사  
2005년 2월 중앙대학교 전기전  
자공학부 공학박사  
2005년 1월~현재 전자부품연구  
원 선임연구원

<관심분야> 디지털 통신, OFDM 셀룰러/LAN 모  
뎀, 디지털 방송 및 통신융합 시스템

전 원 기 (Won-gi Jeon) 정회원



1994년 2월 중앙대학교 전자공  
학과 공학사  
1996년 2월 중앙대학교 전자공  
학과 공학석사  
1999년 8월 중앙대학교 전자공  
학과 공학박사  
2001년 7월 중앙대학교 전자전  
기공학부 BK21 계약교수

2001년 8월~현재 전자부품연구원 책임연구원  
<관심분야> OFDM 기반의 무선통신 시스템, 디지  
털 방송 및 통신융합 시스템

백 종 호 (Jong-ho Paik)

정회원



1994년 2월 중앙대학교 전기공  
학과 공학사  
1997년 2월 중앙대학교 전기공  
학과 공학석사  
2007년 8월 중앙대학교 전기전  
자공학부 공학박사  
1997년 1월~2003년 2월 전자  
부품연구원 뉴미디어통신연  
구센터 선임연구원

2003년 3월~2005년 1월 전자부품연구원 DMB개발  
사업단 단장

2005년 2월~현재 전자부품연구원 모바일단말연구  
센터 센터장

<관심분야> 디지털유무선통신, 방송통신융합시스템

조 용 수 (Yong Soo Cho)

중신회원



1984년 2월 중앙대학교 전자공  
학과(학사)  
1987년 2월 연세대학교 전자공  
학과(석사)  
1991년 2월 The University of  
Texas at Austin 공학박사  
1992년 3월~현재 중앙대학교  
전자전기공학부 교수

2003년 8월~2007년 12월 TTA 휴대인터넷(와이브  
로) 프로젝트 그룹 무선접속 실무반 의장

<관심분야> 디지털통신, OFDM 모뎀 설계, MIMO-  
OFDM 모뎀, MMR 시스템

이 석 필 (Seok Pil Lee)

정회원



1990년 2월 연세대학교 전기공  
학과(공학사)  
1992년 2월 연세대학교 전기공  
학과(공학석사)  
1997년 2월 연세대학교 전기전  
자공학과(공학박사)  
1997년~2002 대우전자 영상연  
구소 선임연구원

2002년~현재 KETI 디지털미디어연구센터 센터장