

# 동기식 디지털 이중화 시스템을 위한 그룹핑 기법

준회원 고요한\*, 박창환\*, 정회원 박경원\*\*, 진원기\*\*, 백종호\*\*, 이석필\*\*\*,  
 종신회원 조용수\*

## A Grouping Technique for Synchronous Digital Duplexing Systems

Yo Han Ko\*, Chang Hwan Park\* Associate Members, Kyung Won Park\*\*, Won Gi Jeon\*\*,  
 Jong Ho Paik\*\*, Seok Pil Lee\*\* Regular Members, Yong Soo Cho\*<sup>o</sup> Lifelong Member

### 요약

본 논문에서는 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기반 동기식 디지털 이중화(Synchronous Digital Duplexing) 방식에 적합한 그룹핑 기법을 제안한다. SDD 방식은 상호 레인지링(mutual ranging) 과정을 통해 획득한 상호 시간 정보와 상호 채널 정보를 이용하여 상·하향링크 신호를 동시에 전송 가능하기 때문에 자원 할당의 유연성과 데이터 전송 효율이 증가하는 장점을 갖는다. 그러나 AP(access point)와 각 SS(subscriber station), SS와 다른 SS 사이의 상호 시간 지연과 상호 채널 길이의 합이 CP(cyclic prefix) 길이보다 긴 경우에는 OFDMA 심볼의 직교성을 유지하기 위해 추가의 CS(cyclic suffix)를 삽입해야하는 단점이 있다. 본 논문에서는 SDD 방식에서 추가의 CS가 필요한 경우에 CS 길이를 최소화하기 위하여 셀 내에 존재하는 AP 혹은 SS를 그룹으로 구분하여 송·수신 시간을 제어하는 그룹핑 기법을 제안하며, 모의실험을 통해 성능을 비교 분석한다.

**Key Words** : SDD, OFDMA, cyclic suffix, grouping

### ABSTRACT

In this paper, we propose a grouping technique for the SDD(Synchronous Digital Duplexing) based on OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access). The SDD has advantages of increasing data efficiency and flexibility of resource since SDD can transmit uplink signals and downlink signals simultaneously by using mutual time information and mutual channel information, obtained during mutual ranging process. However, the SDD has a disadvantage of requiring additional CS to maintain orthogonality of OFDMA symbols when the sum of mutual time difference and mutual channel length between AP(access point) and SS(subscriber station) or among SSs are larger than CP length. In order to minimize the length of CS for the case of requiring additional CS in SDD, we proposes a grouping technique which controls transmit timing and receive timing of AP and SS in a cell by classifying them into groups. Performances of the proposed grouping technique are evaluated by computer simulation.

### I. 서론

현재 통신 시스템의 이중화(duplexing) 방식으로  
 는 FDD(Frequency Division Duplexing)와 TDD

(Time Division Duplexing), Zipper 등이 있으며<sup>[1][2]</sup>,  
 최근에는 디지털 이중화 방식으로 ODD(Orthogonal  
 Division Duplexing)와 OFDD(Orthogonal Frequency  
 Division Duplexing), SDD(Synchronous Digital

※ 본 연구는 한국전자부품연구원과 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) (° : 교신저자)

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

\*\*\* Digital Media Research Center, Korea Electronics Technology Institute, KOREA

논문번호 : KICS2009-01-009, 접수일자 : 2009년 01월 07일, 최종논문접수일자 : 2009년 3월 17일

Duplexing) 방식이 제안되었다<sup>[3][4][7]</sup>. OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기반의 SDD 방식은 상향링크 신호와 하향링크 신호를 동시에 전송할 수 있는 디지털 이중화 방식이다. SDD 방식은 보호 대역이 필요치 않은 장점이 있고, 최적의 보호 시간의 사용으로 인해 데이터 전송 효율이 높고 자원 할당의 유연성이 증가하는 장점을 갖고 있다. 또한 상향링크 신호와 하향링크 신호가 동시에 전송 가능하기 때문에 TDD 방식과 비교하여 이중화 지연이 감소되는 장점이 있다. SDD 방식에서는 상향링크 신호와 하향링크 신호를 동시에 송·수신하기 위해 상호 레인징(mutual ranging) 과정을 통하여 셀 내 모든 링크의 상호 시간 동기 정보와 상호 채널 정보를 획득한다. 획득한 정보는 SDD 방식의 전송 시간 할당 및 대역 할당, FFT(Fast Fourier Transform) 윈도우 시작위치 설정, CS(cyclic suffix) 길이 설정 등에 이용된다.

SDD 방식은 OFDMA 심볼 전송 시간에 따라 Scheme 1과 Scheme 2, Scheme 3(Scheme 3-1, Scheme 3-2)로 구분된다. Scheme 1은 각 SS에서 AP(access point)로부터 거리에 따른 시간 차이만큼 절대기준시간에서 앞당겨 송신하는 방식으로 모든 상향링크 데이터 심볼은 동일한 시간에 AP에 수신되고, AP의 하향링크 심볼은 다른 SS(subscriber station)의 상향링크 심볼보다 항상 늦게 각 SS에 수신된다. Scheme 2는 각 SS가 AP의 신호를 수신한 시간에 동기를 맞추어 상향링크 심볼을 송신하는 방식이다. 이때, AP에 수신되는 SS의 상향링크 신호는 AP와 SS 사이에 발생하는 전파지연 시간의 두 배에 해당하는 시간차이를 발생시키고, 각 SS에서는 AP의 하향링크 신호가 다른 SS의 상향링크 신호보다 항상 빨리 수신된다. Scheme 3은 셀 내에 존재하는 AP와 각 SS에서 수신되는 AP와 각 SS 신호의 최대 지연시간을 고려하여 최대 지연시간 차이를 최소로 하기위한 방식으로 Scheme 3-1과 Scheme 3-2로 나눌 수 있다. SDD 방식은 상호 레인징 과정을 통해 상호 시간 동기를 맞춰야 하기 때문에 이동성이 크지 않고 적은 수의 SS가 존재하는 옥내 환경에 적합하다. 그러나 SDD 방식에서 최대 상호 시간지연 차이 값과 최대 채널 임펄스 응답 길이의 합이 심볼의 CP(cyclic prefix) 길이보다 큰 경우에는 OFDMA 심볼의 직교성을 유지하기 위하여 CS 삽입이 필요한 단점이 있다<sup>[7]</sup>.

본 논문에서는 SDD 방식에서 추가의 CS가 필요한 경우에 CS 길이를 줄이기 위한 방안으로 그룹핑

기법을 제안한다. 제안된 그룹핑 기법은 상호 시간 정보와 상호 채널 정보를 이용하여 셀 내에 존재하는 AP(access point)와 각 SS를 그룹으로 구분하는 방법으로, 각 그룹별로 송·수신을 제어하여 최대 상호 시간 지연과 최대 상호 채널 응답 길이를 갖는 링크의 영향을 최소화 한다. 제안된 그룹핑 기법을 적용할 경우에 OFDMA 심볼의 직교성을 유지하기 위해 삽입해야하는 CS의 길이가 감소하게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 SDD 시스템에서의 CS 길이의 최소화 방법에 대해 설명한다. III장에서는 SDD 시스템을 위한 그룹핑 기법을 제안하고, IV장에서는 모의실험을 통해 제안된 그룹핑 기법의 성능을 검증한다. V장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. SDD 시스템에서의 CS 길이의 최소화 방법

그림 1은 SDD 방식을 위하여 제안된 그룹핑의 개요를 도식적으로 설명하기 위한 예로, 하나의 AP와 세 개의 SS가 존재하는 극단적인 실내 환경을 보여준다. 여기서 셀 반경은  $R[m]$ ,  $T = R[m] \times 3.3$  [ns/m], 각 링크의 채널 길이는 CP 길이와 동일하다고 가정하였다. 그리고 셀의 중심에 AP와 한 개의 SS가 존재하고 셀 외곽에 두 개의 SS가 인접해 있는 경우를 가정하였다.

그림 2는 그림 1의 실내 환경에서 그룹핑을 적용하지 않은 경우와 그룹핑을 적용한 경우에 AP와 각 SS의 송신 시간과 수신 시간을 나타낸다. 여기서 전송방식으로 Scheme 1을 사용하였고<sup>[7]</sup>, 송신 신호에는 편의상 CS를 나타내지 않았다.

그림 2에 나타낸 바와 같이 SDD 방식에서 그룹핑을 적용하지 않으면 심볼의 직교성을 유지하기 위해  $2T$  길이만큼 추가의 CS가 필요함을 알 수 있다. 하지만 그룹핑을 적용하여 AP와 SS<sub>1</sub>을 그룹 1으로 묶고, SS<sub>2</sub>와 SS<sub>3</sub>을 그룹 2로 묶어서 각 그룹별로 송신과 수신을 제어하여 서로 직교하게 송신

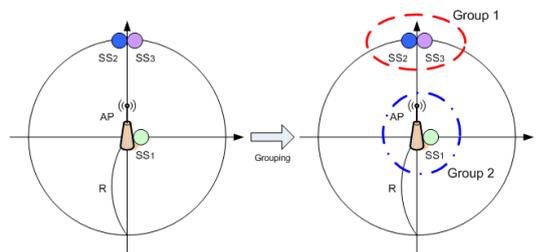


그림 1. 그룹핑의 개요 설명을 위한 SS 배치 예

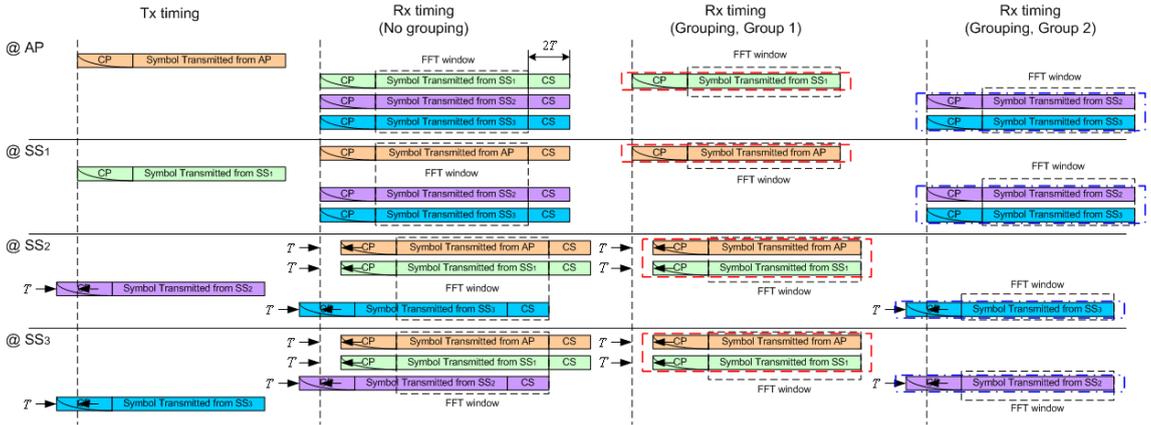


그림 2. 그룹핑 적용 유무에 따른 AP와 각 SS의 송신 시간과 수신 시간

하는 경우(그룹 1이 송신할 때 그룹 2는 송신하지 않고, 그룹 2가 송신할 때 그룹 1은 송신하지 않게 하는 경우)에는 인접한 SS의 신호가 최대 지연( $2T$ )을 발생시키는 경우가 없어진다. 따라서 그룹핑을 적용하면 추가의 CS없이 심볼의 직교성이 유지되어 성능 열화없이 데이터 검출이 가능함을 알 수 있다.

그룹핑은 셀 내에서 발생하는 상호 시간 동기 정보와 상호 채널 정보를 탐색한 후에 수행되며, 그룹핑 과정을 통해 셀 내의 AP와 SS들은 송신과 수신시 각 그룹 단위로 제어된다. 그룹핑을 수행할 때의 목적함수와 제약 조건은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} & \max\{f\} \\ & = \max \left\{ \frac{T_{Data}}{T_{Data} + T_{CP} + \frac{1}{N_G \cdot N_{sym}^{RB}} \sum_{n=1}^{N_G} \left\{ \sum_{s=1}^{N_{sym}^{RB}} T_{CS}^{n,s} \right\}} \right\} \\ & \text{subject to} \\ & 0 \leq T_{CS}^{\min} \leq T_{CS}^n \leq T_{CS}^{\max} \\ & \lceil (N_{SS}+1)/M \rceil \leq N_G \leq \lfloor D_{sym}^{\max}/N_{sym}^{RB} \rfloor \quad (1) \end{aligned}$$

여기서  $T_{Data}$ 는 데이터 길이,  $T_{CP}$ 는 CP 길이,  $T_{CS}^n$ 는  $n$ 번째 그룹의  $s$ 번째 심볼의 CS 길이,  $N_G$ 는 그룹 수를 나타낸다. 그리고  $T_{CS}^{\max}$ 은 최대 CS 값으로써, 모든 SS 신호가 한 심볼 구간에서 송신될 때 발생한다.  $T_{CS}^{\min}$ 은 최소 CS 값으로써, AP와 한 SS 신호가 한 심볼 구간에서 송신될 때 발생한다.  $N_{SS}$ 는 SS의 수를 나타낸다.  $M$ 은  $N_{Data}/N_{sc}^{RB}$ 로 표현되며, 이는 전체 데이터 부반송파 수  $N_{Data}$ 를 한 자원

블록의 부반송파 수  $N_{sc}^{RB}$ 로 나눈 값이다.  $D_{sym}^{\max}$ 는 시스템에서 정해지는 값으로 허용 가능한 최대 전송 지연 심볼 수를 나타내고,  $N_{sym}^{RB}$ 는 자원 블록의 심볼 수를 나타낸다.  $\lceil a \rceil$ 는  $a$ 보다 큰 가장 작은 정수를 나타내고,  $\lfloor a \rfloor$ 는  $a$ 보다 작은 가장 큰 정수를 나타낸다. 식 (1)의 목적함수를 통해 알 수 있듯이 그룹핑은 함수  $f$ 를 최대화하는 것을 목적으로 한다. 그룹핑 과정을 통해 AP와 각 SS는 그룹으로 구분되어지는데, 같은 그룹에 속한 AP 또는 SS는 동일한 심볼에 신호를 송신한다. 하지만 다른 그룹에 속한 AP 또는 SS는 서로 다른 심볼 구간에서 신호를 송신한다. 각 그룹에 속한 SS는 서로 다른 상호 시간 차이가 발생하고 서로 다른 길이를 갖는 채널이 발생하기 때문에 각 그룹은 서로 다른 길이의 CS를 갖는다.

그룹핑을 수행하기 위해서는 식 (1)의 목적함수의 최적화 문제를 풀어야 하며, 이를 위해 목적함수의 특성(선형함수, convex 함수, concave 함수)을 알아야한다<sup>[5][6]</sup>. 식 (1)의 목적함수를 다시 정의하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} f(x) &= \frac{T_{Data}}{T_{Data} + T_{CP} + x} \quad (2) \\ \text{where } x &= \frac{1}{N_G \cdot N_{sym}^{RB}} \sum_{n=1}^{N_G} \left\{ \sum_{s=1}^{N_{sym}^{RB}} T_{CS}^{n,s} \right\} \end{aligned}$$

여기서  $x$ 는 0 또는 양의 실수이다. 먼저 식 (2)의  $f(x)$ 가 선형함수인지 확인하기 위해 선형함수의 조건을 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{cases} f(kx) = kf(x) \\ f(x_1 + x_2) = f(x_1) + f(x_2) \end{cases} \quad (3)$$

식 (2)의  $f(x)$ 는 식 (3)의 조건을 만족하지 않으므로 선형함수가 아님을 알 수 있다. 다음은  $f(x)$ 가 convex 함수인지 concave 함수인지 확인하기 위해  $f(x)$ 를 다음과 같이 변형하여 나타낼 수 있다.

$$f(x) = \frac{T_{Data}}{T_{Data} + T_{CP} + x} = \frac{1}{1 + T_{CP}/T_{Data} + x/T_{Data}}$$

$$f(x') = \frac{1}{\alpha + x'}$$

where  $\alpha > 1, x' \geq 0$  (4)

그림 3은 식 (4)의  $f(x')$ 을 그래프로 보여준다. 그림 3을 통해  $f(x')$ 는 convex 함수임을 알 수 있고,  $f(x)$  또한 convex 함수임을 알 수 있다. Convex 함수의 최대값(maximum point)은 제약조건 of 경계지역에 존재한다<sup>[5][6]</sup>. 따라서 식 (1)에서 최대값을 찾기 위해 경계 지역의 값들만을 탐색하면 되지만, 목적함수는 그룹 수에 따라 가변적이 되고, 제약조건은 그룹의 형성에 따라 변하기 때문에 최대값을 찾기 위해서는 구현 가능한 그룹에 대해 모두 탐색해야 한다. 일반적으로 무선 전송 시스템에서 목표 서비스 요구량(service requirement)이 정해지면 대역폭과 부반송파 개수가 정해지고, 이에 따라  $T_{Data}$ 와  $T_{CP}$ 가 결정된다. 결국  $T_{Data}$ 와  $T_{CP}$ 가 고정적인 경우에 식 (1)에 나타난 목적함수는 각 그룹의 CS 길이의 합을 최소로 하는 것과 동일하다. 따라서 식 (1)의 목적함수는 다음과 같이 수정하여

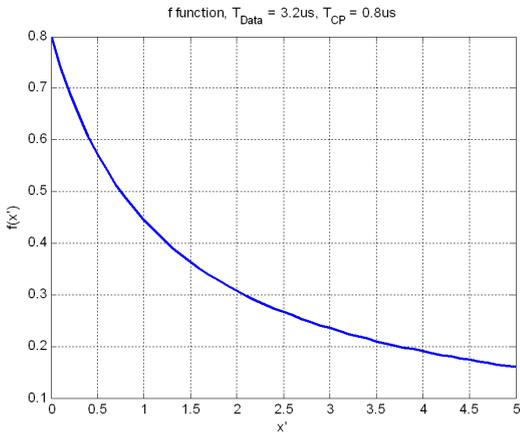


그림 3. 함수  $f(x')$

나타낼 수 있다.

$$\min \left\{ \frac{1}{N_G \cdot N_{sym}} \sum_{n=1}^{N_G} \left\{ \sum_{s=1}^{N_{sym}^{(n)}} T_{CS}^{n,s} \right\} \right\} \quad (5)$$

다음은 식 (1)의 제약조건에 대해 살펴본다. 식 (1)의 첫 번째 제약 조건은 CS 길이에 대한 제약 조건으로써  $n$ 번째 그룹에 속한 SS들이 상향링크 신호를 송신하였을 때 발생하는 상호 시간 차이와 채널 임펄스 응답의 길이로 변환하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{CS}^{n,s} \geq \left\{ (T_{CIR}^{\max,n} + T_{diff}^{\max,n}) - T_{CP} \right\} \quad (6)$$

여기서  $T_{CIR}^{\max,n}$ 은  $n$ 번째 그룹에 속한 AP 또는 SS가 상향링크 신호를 송신할 때 발생하는 채널 임펄스 응답 중 가장 긴 길이를 나타내고,  $T_{diff}^{\max,n}$ 은  $n$ 번째 그룹에 속한 AP 또는 SS가 상향링크 신호를 송신할 때 AP 혹은 다른 SS에서 발생하는 상호 시간 지연 중 가장 큰 값을 나타낸다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$T_{diff}^{\max,n} = \left| T_{j_1}^{i_1} - T_{j_2}^{i_2} \right|_{\max} \quad (7)$$

where

$$T_j^i = T_{i,j} - T_i, \quad i \neq j, \quad i_1 \neq i_2, \quad j_1 \neq j_2$$

$$j \in \{AP, SS_1, \dots, SS_{N_{ss}}\}, \quad i \in \mathbf{G}_n$$

여기서  $i$ 는  $n$ 번째 그룹( $\mathbf{G}_n$ )에 속한 AP 또는 SS 인덱스를 나타내고,  $j$ 는 AP와 모든 SS 인덱스를 나타낸다.  $T_{i,j}$ 는  $i$ 와  $j$  사이의 시간 지연,  $T_i$ 는  $i$ 의 전송 시간을 나타낸다. 또한  $\mathbf{G}_n$ 은  $n$ 번째 그룹에 속한 AP 또는 SS들로 이루어진 집합을 나타낸다. 동일한 그룹에 속한 SS들의 각 심볼의 CS 길이가 동일하면, 식 (5)에 주어진 목적함수는 단조 증가 함수가 되고,  $T_{CS}$ 의 값이 가장 작은 값이 최적 해가 된다. 이 경우에 식 (6)의 제약식의 부등호는 등호로 변경할 수 있고, 심볼 번호를 나타내는 기호  $s$ 는 무시할 수 있다.

### III. SDD 시스템을 위한 그룹핑 기법

II장에서 SDD 시스템에서의 CS 길이를 최소화

하기 위해 그룹핑 기법의 개요를 설명하고, 목적함수와 제약조건을 정의하였다. 본 장에서는 II장에 정의한 목적함수와 제약조건을 바탕으로 그룹핑 기법의 절차 및 과정을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 그룹핑 기법을 위한 목적 함수와 제약 조건은 다음과 같이 수정하여 나타낼 수 있다.

$$\min \left\{ \frac{1}{N_G} \sum_{n=1}^{N_G} T_{CS}^n \right\}$$

subject to

$$T_{CS}^n = \left\{ (T_{CIR}^{\max, n} + T_{diff}^{\max, n}) - T_{CP} \right\}$$

$$\lceil (N_{SS} + 1) / M \rceil \leq N_G \leq \lfloor D_{sym}^{\max} / N_{sym}^{RB} \rfloor \quad (8)$$

그림 4는 본 논문에서 제안하는 그룹핑 기법의 순서도를 나타낸다.

그림 4에 나타난 바와 같이, 그룹핑 과정은 총 6 단계로 구성된다.

첫 번째 단계는 초기화 과정으로, 초기 레인징과 상호 레인징 과정을 통해 추정된 상호 시간 동기 정보와 상호 채널 정보를 초기 입력값으로 설정하는 단계이다. 그리고 SDD 시스템에서 허용 가능한 최대 그룹 수  $N_G$ 를 설정하고, AP와 SS로 이루어진 모든 가능한 부분집합을 획득한다.

두 번째 단계는 논리 연산을 수행하는 단계이다.  $N_G$ 의 값에 따라 3번째 단계 혹은 6번째 단계로 가는 것을 판단하는 논리 연산을 수행한다.  $N_G \neq \lceil (N_{SS} + 1) / M \rceil - 1$ 인 경우에는 3번째 단계로 이동하고,  $N_G = \lceil (N_{SS} + 1) / M \rceil - 1$ 인 경우에는 6번째 단계로 이동한다.

세 번째 단계는 그룹집합을 찾는 단계이다. 부분

집합 중 전체 그룹 수가  $N_G$ 이고, 그룹들의 합이 전체 집합이 되는 부분집합들을 하나의 그룹집합으로 설정한다. 이때 그룹집합에 속한 각 그룹의 크기(각 그룹에 속한 AP 혹은 SS의 수)는  $M (= N_{Data} / N_{SC}^{RB})$ 보다 작아야한다.

네 번째 단계는 각 그룹집합들의 CS 길이를 계산하는 단계로서, 네 스텝으로 진행된다. 먼저 그룹집합에 포함된 각 그룹에 속한 AP 또는 SS들이 신호를 송신할 때 AP와 SS에서 발생하는 상호 시간 지연과 상호 채널 정보를 입력 값으로 설정한다. 그 후에 이 값들을 이용하여 각 그룹의 CS 값을 계산한다. 그리고 계산된 CS 값을 이용하여 그룹집합의 평균 CS 값을 계산하고, 그룹집합의 인덱스와 계산된 평균 CS 값을 메모리에 저장한다.

다섯 번째 단계는  $N_G$ 를  $N_G - 1$ 로 변환하고, 두 번째 단계로 다시 돌아간다.

두 번째 단계에서 다섯 번째 단계까지를 반복하다가, 두 번째 단계에서  $N_G$ 의 값이  $\lceil N_{SS} / M \rceil - 1$ 이 되면, 마지막 여섯 번째 단계로 이동한다.

여섯 번째 단계는 메모리에 저장된 CS 길이 중 가장 작은 값을 갖는 그룹집합을 선택하는 단계이다.

상기 과정을 통해 선택된 그룹집합은 식 (8)의 목적함수를 만족하는 최적의 그룹이 된다.

그림 5는 그림 1의 실제 환경에서 그룹핑이 수행되지 않은 SDD 방식의 프레임 구조와 그룹핑이 수행된 후의 SDD 방식의 프레임 구조의 예를 보여준다. 이때  $N_{sym}^{RB}$ 는 4,  $N_{sc}^{RB}$ 는 3이고, AP와 각 SS의 자원은 공정하게 할당이 이루어졌음을 가정한다.

그림 5를 통해 알 수 있듯이, 그룹핑이 수행되지 않은 경우에는 모든 신호가 동일한 심볼 구간에서 전송이 되어 최대 상호 시간 지연과 최대 채널 지연이 발생하여 CS로 인한 자원 효율 감소를 발생시킨다. 하지만 그룹핑을 수행한 경우에는 최대 상호 시간 지연과 최대 채널 지연이 발생하는 경우를 없애 추가로 삽입해야하는 CS의 길이를 줄일 수 있다.

또한 SDD 방식에서 각 그룹의 자원 블록의 양 끝에 위치한 심볼은 인접 그룹의 심볼로부터 간섭을 받게 된다. 따라서 각 그룹의 자원 블록의 양 끝에 위치한 심볼은 인접 그룹과의 상호 시간 차이와 상호 채널 지연을 고려하여 CS를 삽입해야한다. 그림 6은 두 그룹 사이의 자원 블록의 양 끝 심볼 구조를 보여준다.

그림 6에 나타난 바와 같이 각 그룹은 그룹핑 기법을 통해 계산된 CS 길이  $T_{CS}^n$  만큼의 CS를 각

<p><b>1. Initialization</b></p> <p>Obtain mutual timing information and mutual channel information Set the number of groups, <math>N_G</math> Construct all possible subsets (Number of all subsets = <math>2^{N_G} - 1</math>)</p>
<p><b>2. Step selection</b></p> <p>If <math>N_G = \lceil (N_{SS} + 1) / M \rceil - 1</math>, go to Step 3 If <math>N_G = \lceil (N_{SS} + 1) / M \rceil - 1</math>, go to Step 6</p>
<p><b>3. Select group sets from subsets</b></p> <p>where Number of groups = <math>N_G</math> Size of group <math>\leq M</math></p>
<p><b>4. Calculate CS length of each group set</b></p> <p>a) obtain time difference and length of channel impulse response of each group set b) calculate CSs of each groups, <math>T_{CS}^n = (T_{CIR}^{\max, n} + T_{diff}^{\max, n}) - T_{CP}</math> c) calculate mean CS length, <math>CS = \frac{1}{N_G} \sum_{n=1}^{N_G} T_{CS}^n</math> d) save mean CS length and group index</p>
<p><b>5. <math>N_G = N_G - 1</math>, go to Step 2</b></p>
<p><b>6. Select the group set, which has min. CS length</b></p>

그림 4. 제안된 그룹핑 기법의 순서도

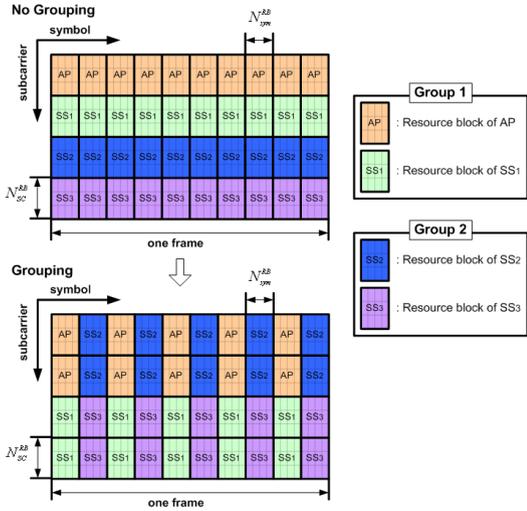


그림 5. 그룹핑 적용 유무에 따른 SDD 방식의 프레임 구조의 예  
 자원블록에 포함되는 심볼에 삽입하고, 자원블록 양 끝 심볼의 CS 길이는 인접 그룹에 속한 AP 혹은 SS를 포함하여 새로운 그룹을 생성한 후에 새로운 그룹의 최대 상호 시간 지연과 최대 채널 지연 길이를 고려하여 설정한다. 이를 수학적식으로 나타내면 다음과 같다.

$$T_{CS}^{n_1 \& n_2} = (T_{CIR}^{max, n'} + T_{diff}^{max, n'}) - T_{CP}$$

where  $n' = n_1 + n_2, n_1 \neq n_2$  (9)

여기서  $n_i$ 는  $n_i$ 번째 그룹 인덱스를 나타내고,  $T_{CS}^{n_1 \& n_2}$ 는  $n_1$ 그룹과  $n_2$ 그룹의 인접한 양 끝 심볼의 CS 길이를 나타낸다.

#### IV. 모의실험

본 장에서는 SDD 방식을 위한 그룹핑 기법의 성능을 모의실험을 통하여 분석한다. 표 1은 모의실험에 사용된 파라미터를 나타낸다. SDD 방식은 옥

표 1. 모의실험 환경

Items	Values
Cell radius	20 m
Carrier frequency	5 GHz
Bandwidth	20 MHz
Symbol length	3.2 us
CP length	0.8 us
FFT size	64
Max. channel impulse response length	0.8 us
Number of APs	1
Number of SSs	6
$N_{sym}^{RB}$	20

내 환경에 적합하기 때문에 실내 무선랜에 사용되는 IEEE 802.11a의 파라미터를 사용하였다. 그리고 AP는 셀 중심에 위치하며, AP의 하향링크 신호는 항상 송신되고, AP의 하향링크 신호만 단독으로 송신되지 않음을 가정하였다.

그림 7은 표 1의 파라미터를 사용하여 그룹핑 기법을 적용하지 않은 SDD 방식과 그룹핑 기법을 적용한 SDD 방식의 CS 길이를 그룹 수에 따라 비교하여 보여준다.

그림 7을 통해 SDD의 세 가지 전송 방식(Scheme 1, Scheme 2, Scheme 3)에 대해 그룹핑 기법을 적용한 경우 SDD 방식의 CS 길이가 그룹핑 기법을 적용하지 않은 SDD 방식의 CS 길이보다 크게 감소함을 확인할 수 있다. 그리고 그룹 수가 증가할수록 CS 길이가 점차적으로 감소하여 그룹 수가 5일 때 CS 길이가 수렴함을 확인할 수 있다. 이 그림으로부터 그룹핑 수행 여부와 상관없이 Scheme 3의 CS 길이가 가장 작고, 그 다음으로 Scheme 1, Scheme 2의 순서로 CS 길이가 작음을 알 수 있다.

그림 8은 표 1의 파라미터를 사용하여 셀 반경을 변화시키며 그룹핑 기법을 적용하지 않은 경우와 적용한 경우의 SDD 방식의 CS 길이 변화를 보여준다.

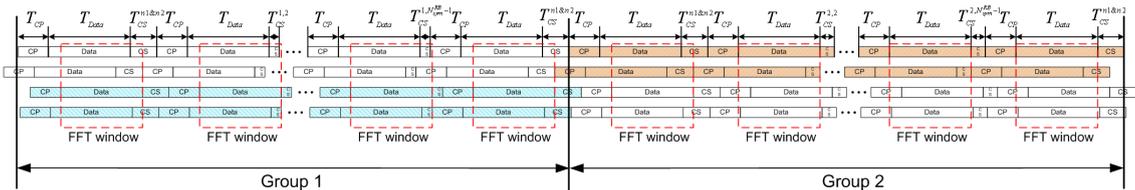


그림 6. 두 그룹 사이의 자원 블록의 양 끝 심볼 구조

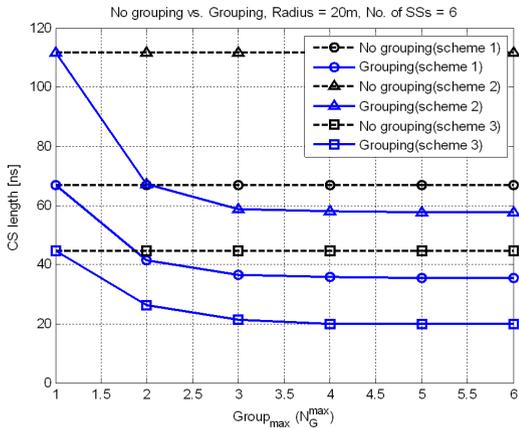


그림 7. 그룹 수에 따른 CS 길이 비교

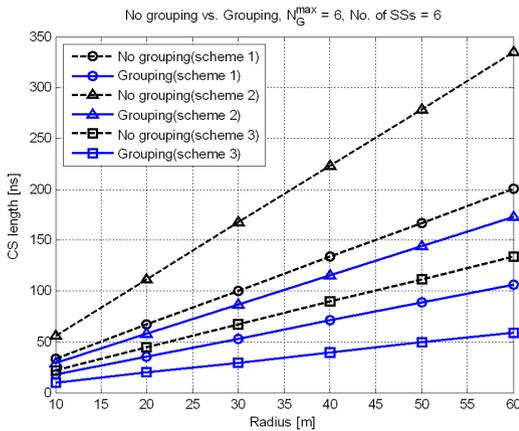


그림 8. 셀 반경 변화에 따른 CS 길이 비교

그림 8을 통해 셀 반경이 증가하면 그룹핑 적용 유무에 상관없이 CS 길이가 모두 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 그리고 셀 반경과 관계없이 그룹핑을 적용하면 CS 길이가 그룹핑을 적용하지 않은 경우에 비해 항상 감소함을 확인할 수 있다. 또한 그룹핑을 적용한 SDD 방식의 CS 길이의 기울기가 그렇지 않은 경우의 기울기보다 작기 때문에 셀 반경 증가에 따라 요구되는 CS 길이가 더욱 작음을 알 수 있다. 따라서 제안된 그룹핑 기법은 셀 반경이 증가하고 그룹수가 증가할수록 더욱 효율적인 기법이다.

## V. 결론

본 논문에서는 셀 반경이 작고 사용자수가 적은 옥내 무선 환경에 적합한 디지털 이중화 방식인

SDD 방식에 적합한 그룹핑 기법을 제안하였다. 제안된 그룹핑 기법은 SDD 방식의 세 가지 전송방식 (Scheme 1, Scheme 2, Scheme 3)에 모두 적용 가능하며, 그룹핑 기법을 적용하지 않은 경우에 비해 요구되는 CS 길이가 감소됨을 모의실험을 통하여 확인하였다. 또한 셀 반경이 증가할수록 그룹핑으로 인해 발생하는 CS 길이 감소 이득이 더욱 커지기 때문에 셀 반경이 증가할수록 더욱 효율적임을 알 수 있었다. 제안된 그룹핑 기법을 적용할 경우에 그룹 수만큼 전송 지연이 발생할 수 있으나, 일반적으로 데이터 디코딩 과정은 여러 심볼을 블럭화하여 수행되기 때문에 그룹핑으로 인해 발생하는 전송 지연은 실제적으로 영향이 크지 않다.

## 참고 문헌

- [1] P. W. C. Chan, E. S. Lo, R. R. Wang, E. K. S. Au, V. K. N. Lau, R. S. Cheng, H. M. Wai, R. D. Murch, and K. B. Letaief, "The evolution path of 4G networks: FDD or TDD?," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 44, no. 12, pp. 42-50, Dec. 2006.
- [2] 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, no. 8, pp. 1245-1252, Aug. 1999.
- [3] 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.
- [4] R. Kimura and S. Shimamoto, "An orthogonal frequency division duplex (OFDD) system using an analog filter bank," *WCNC'2007*, pp. 2275-2280, Mar. 2007.
- [5] E. K. P. Chong and S. H. Zak, *An Introduction to Optimization 3/E.*, WILEY, 2007.
- [6] S. Boyd and L. Vandenberghe, *Convex Optimization*, Cambridge, 2004.
- [7] 박창환, 고요한, 박경원, 전원기, 백중호, 이석필, 조용수, "옥내 환경에서 무선 전송을 위한 동기식 디지털 이중화 방식," *한국통신학회논문지*, vol. 33, no. 12, Dec. 2008.