

Radio-over-Fiber 시스템을 위한 40 GHz 대역에서 직접 광스위칭 CDMA 연구

최재원* · 전영민† · 변영태 · 우덕하

한국과학기술연구원 광기술연구센터

Ⓣ 136-791 서울시 성북구 하월곡동 39-1

박종대 · 서동선

*명지대학교 전자공학과

Ⓣ 449-728 경기도 용인시 남동 산 38-1

(2003년 8월 19일 받음, 2003년 11월 3일 수정본 받음)

Radio-over-Fiber(RoF) 시스템에서 직접 광스위칭 CDMA(Direct Optical Switching CDMA : DOS-CDMA) 기법을 이용하여 기존 이동통신에서 연구되어왔던 수 GHz 대역보다 주파수가 훨씬 높은 40 GHz 대역의 MMW (millimeter wave)를 반송파로 사용한 차세대 이동통신을 위한 MMW DOS-CDMA 시스템 연구를 실험적으로 수행했다. 부호 분할 다중화에 사용된 직교 부호(orthogonal codes)는 단극성(unipolar) 형태의 상호상관이 2이하(crosscorrelation \leq 2)인 부호열을 선택했으며, 부호 길이(code length)는 16 chips, 칩율(chip rate)은 2.5 Gchip/sec 였다. 광원은 10 GHz 광섬유 링 레이저를 유리구조모드 잠김시켜 진폭 균등화한 40 GHz 의 안정된 레이저 펄스를 발생시켜 사용하였다.

주제어: radio-over-fiber, direct optical switching CDMA, millimeter wave, orthogonal code.

I. 서 론

최근, 멀티미디어 통신의 대용량 서비스 증가로 인해 이를 충족시키기 위해 마이크로셀/피코셀 시스템에 대한 다양한 연구가 진행되었다.^[1] 마이크로셀룰라(microcellular) 기술은 여러 마이크로셀(microcell) 사이의 신호 전송에 있어 많은 문제점이 있고, 또한 대용량 데이터 전송은 많은 주파수 자원을 필요로 하기 때문에 이를 해결하기 위한 방법으로 무선 통신에서 광통신을 접목시킨 Radio-over-Fiber(RoF) 시스템 및 radio highway networks에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^[2] RoF 시스템은 무선 신호를 광섬유를 통해 중앙 기지국(central station: CS)으로 보내기 위해서 RBS(radio base station)를 E/O 와 O/E 변환기(converter)만으로 간단히 구성하고, RF 변조와 복조 등 복잡한 작업은 CS에서 처리하게 함으로써, 많은 RBS가 요구되는 RoF 시스템을 저렴하게 구성할 수 있는 장점이 있다. 한편, RoF 시스템의 다중화 기법으로는 여러 가지 방법들이 있는데, 그 중에서 SCMA(subcarrier multiple access) 방법^[3]은 유연성과 간단함 면에서 우수하지만, 각 RBS에서 광파장의 엄격한 제어가 없다면 광비트 잡음에 의해 CS에서 수신된 반송파 대 잡음율(carrier-to-noise ratio: CNR)이 심각하게 나빠지는 단점이 있고, OTDMA(optical time division multiple access)는 광비트 잡음이 없고, 여러 마이크로셀 사이의 주파수를 재활용이 가능하지만, 전체 시스템의 시간 동기

화 및 위상 일치가 필요한 단점이 있다. 따라서, RoF 시스템에서는 각 사용자에게 비동기 접근을 제공하고, 다양한 무선 통신 여건에 대한 유연성과 투명성이 우수한 OCDMA 방법이 훨씬 적합하다. 그러나 일반적인 OCDMA 방법에서는, 각 RBS에 부호를 할당하는데 있어 유연성이 없으므로, RBS에서 가입자로부터 수신된 무선 신호 형태를 그대로 유지시키면서 광섬유를 통해 CS로 전송하는 직접 광스위칭 CDMA(direct optical switching CDMA: DOS-CDMA)라는 새로운 형태의 OCDMA 방법이 제안되었다.^[4] 이것은 적은 광손실의 이득을 가지고, 일반적인 OCDMA보다 훨씬 간단한 구성이다. 또한, 광스위치를 이용하여 부호화/복호화 하므로 부호열 할당이 더 유연하며, 특히 어떤 형태의 신호에 대해서도 투명성을 가진다는 장점이 있다. 이러한 RoF networks에서 DOS-CDMA는 현재 무선 통신 시스템에서 사용하는 수 GHz 대역에서 연구되어왔다.^[5-7] 그러나, 멀티미디어서비스 및 대용량 정보의 초고속 송수신이 요구되는 미래의 이동 통신시스템에 있어서는 RoF 시스템을 기반으로하여 ITS(intelligent traffic system)^[8]용 광대역 전송 기술과 같이 대역폭이 넓은 서비스를 제공하기 위해 수십 GHz 밀리미터파(millimeter wave: MMW) 대역의 반송 주파수(carrier frequency)를 이용하는 광대역 유무선 통합 통신시스템이 요구될 것이다.

본 논문에서는 DOS-CDMA 시스템에 있어서, 기존의 이동통신을 위해 연구되어왔던 수 GHz 대역보다 주파수가 훨씬 높은 40 GHz의 MMW를 반송파로 이용하여, 차세대 이동통신을 위한 MMW DOS-CDMA 시스템을 위한 연구를 실험적으로 수행하였다.

†E-mail: ymjhon@kist.re.kr

II. 40 GHz DOS-CDMA 부호열

일반적으로 CDMA 시스템에서 중요한 점은 각각의 이용자들이 사용하고 있는 의사(pseudorandom: PN) 부호열의 유사성에 있는데, 의사 부호열 각각은 가상 랜덤 데이터이므로 한 주기 안에서 1개 칩(chip)이라도 틀리면 다른 부호열이 되지만, 거의 동일한 부호열에서는 서로 심한 간섭을 일으킨다. 이처럼 서로 발생하는 간섭의 정도를 나타내는 척도로 상관값이란 것을 정의하며, 자기상관(autocorrelation)과 상호상관(cross-correlation)이 있다. 예를 들어, DOS-CDMA 시스템에서 N개 칩으로 구성된 부호열(code sequence)에 일치하도록 파형 $S(\tau)$ 가 부호화된다고 했을 때, 각 수신기는 자기 자신의 부호 $f(\tau)$ 와 수신된 신호 $S(\tau)$ 를 상관시키는데 이때, 수신기 출력은 식 (1)과 같다.

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(z)f(z-\tau)dz \quad (1)$$

신호가 정확한 목적지에 도달했다면, 그때 $s(\tau) = f(\tau)$ 이고 식 (1)은 자기상관 함수를 나타낸다. 만일 신호가 부정확한 목적지에 도달했다면, $s(\tau) \neq f(\tau)$ 이고 식 (1)은 상호상관 함수를 나타낸다. 각각의 신호 진폭의 변화로 계수가 변동하지 않도록 $s(\tau)$ 와 $f(\tau)$ 의 진폭으로 정규화하여, 식 (1)의 적분 결과가 $s(\tau)$ 와 $f(\tau)$ 가 완전히 동일한 신호인 경우에 $R = 1$ 이 되도록하고, 양과 음으로 부호가 정반대인 신호로 되어 있는 경우에는 $R = -1$ 이 되도록 알맞게 조절한다. 한 주기 동안을 평균해서 볼 때 $s(\tau)$ 의 임의의 시간에서의 값과 $f(\tau)$ 의 동일한 시간에서의 값이 아무 관계도 없을 경우에는 $R = 0$ 이 된다. 따라서 각 수신기에서 정확한 신호와 간섭 사이의 식별을 극대화하기 위해서는 자기상관이 최대가 되고, 상호상관은 최소화 되어야 하는데, 이는 직교 부호열(orthogonal code sequences) 집합을 선택함으로써 가능하다.

직교 부호열은 가장 잘 알려진 부호인 M 부호(Maximal length codes)^[9]와 골드 부호(gold codes)^[10-11]가 있다. 그러나 M 부호는 동일한 주기로 다른 부호열을 발생시키는 조합의 수가 매우 적기 때문에 실제 CDMA에서 이용하는 경우는 거의 없다. 따라서 비 M 부호 가운데 상호상관 특성이 양호한 조합을 선택해서 사용해야 하는데 그것이 골드 부호이다. 골드 부호는 발생시키는 조합의 수가 M 부호와는 비교가 안될 정도의 부호열(2^k+1 개, k = 쉬프트레지스터 스텝 수) 종류를 얻을 수 있지만 여전히 큰 상호상관값의 변화가 존재한다. 또한, 광강도 변조/직접 검출 방법을 이용하는 DOS-CDMA에서는 일반적인 무선 CDMA 시스템에서 사용되는 M 부호나 골드 부호

와 같은 양극성 부호 대신에 기본적으로 단극성 부호를 사용해야 한다. 이러한 단극성 직교 부호중에는 프라임 부호(Prime codes)^[12-13]가 있다. 프라임 부호는 부호열 내에 1의 수가 매우 적어 서로 다른 두 부호열로 부호화된 신호간의 상호상관값 R은 거의 0에 가깝기 때문에 상호상관값이 최소가 되고 자기상관값은 최대가 되는 우수한 특성을 갖는다. 따라서 DOS-CDMA 시스템에서는 프라임 부호와 같이 최대의 자기상관값과 최소의 상호상관값을 갖는 단극성 부호를 사용한다.

프라임 부호열은 다음과 같이 발생된다. 길이 P^2 (length $N = P^2$)을 갖는 프라임 부호열 집합은 갈로아 필드[Galois field: $GF(P) = \{0, 1, \dots, j, \dots, P-1\}$]로부터 얻어진 길이(length) P의 프라임 열에 의해 유도된다($P =$ 프라임 번호).^[12] 그중의 어떤 프라임 열 $S_x = \{s_{x0}, s_{x1}, \dots, s_{xj}, \dots, s_{x(P-1)}\}$ 는 $GF(P)$ modulo P의 원소 x 와 $GF(P)$ 의 모든 원소를 곱하여 얻는다. 이때 x 번째 프라임 부호열을 $C_x = \{c_{x0}, c_{x1}, \dots, c_{xi}, \dots, c_{x(N-1)}\}$ 이라 놓으면, i 번째 부호 원소 c_{xi} 는 식 (2)와 같이 주어진다.

$$C_{xi} = 1, \text{ for } i = S_{xj} + jP, \quad j = 0, 1, \dots, P-1 \\ = 0, \text{ otherwise} \quad (2)$$

표 1은 프라임 번호 5($p=5$)인 경우 프라임 부호열(Prime code sequences)과 프라임 열(Prime sequences)의 예를 보여준다. 표 1에서 프라임 열 S_2 는 부호열 $C_2(10000001000000100000010)$ 로 맵핑된다. 프라임 부호는 그 특성상 프라임 번호를 제공한 값이 이진 부호열의 전체 칩수($N=2^n$) 보다 항상 작기 때문에 프라임 부호열로 채워지지 않는 칩은 0으로 채워준다(예를 들어 프라임 번호가 5인 경우 전체 이진 부호열의 칩수가 $N(2^5) = 32$ chips이면, $N = 5^2 + 7 = 32$ 가 되므로 7 chips을 0으로 채워준다). 그러나 본 실험에서는 이런 패딩(padding) 칩을 없애기 위해 $N(2^4) = 16$ chips인 부호열을 선택했다. 선택한 부호는 정확한 프라임 부호는 아니지만, 프라임 부호와 같은 원리로 부호열 내에 1의 수가 적고, 서로 다른 부호열 간에 1이 동시에 발생할 가능성이 상호상관값이 2 이하($\text{cross-correlation} \leq 2$)로 매우 낮은 16 chips의 단극성 부호로써 k 부호 $C_k(t) = 1000100010001000(16 \text{ chips})$ 와 j 부호 $C_j(t) = 1000001000010100(16 \text{ chips})$ 인 임의의 두 부호를 선택했다.

III. 40 GHz DOS-CDMA 시스템 원리와 구성

그림 1은 RoF 네트워크의 개념도이다. RBS는 E/O와 O/E 변환기(converter)만으로 간단하게 구성되고, RBS에서 수신된 무선 신호는 RF 변조와 복조(MODEM)등 복잡한 장치로 구

표 1. P=5인 경우 프라임 열(Prime sequences)과 프라임 부호열(Prime code sequences)

Prime Sequences S_x for P=5						Prime Code Sequences C_x for P=5				
x \ j	0	1	2	3	4	frame 0	frame 1	frame 2	frame 3	frame 4
0	0	0	0	0	0	Code C_0	10000	10000	10000	10000
1	0	1	2	3	4	Code C_1	10000	01000	00100	00010
2	0	2	4	1	3	Code C_2	10000	00100	00001	01000
3	0	3	1	4	2	Code C_3	10000	00010	01000	00001
4	0	4	3	2	1	Code C_4	10000	00001	00010	00100

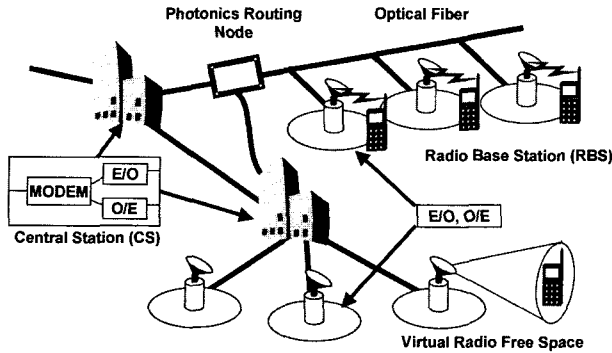


그림 1. Radio-over-Fiber (RoF) 네트워크 개념도(O/E: Optical to Electrical Converter, E/O: Electrical to Optical Converter).

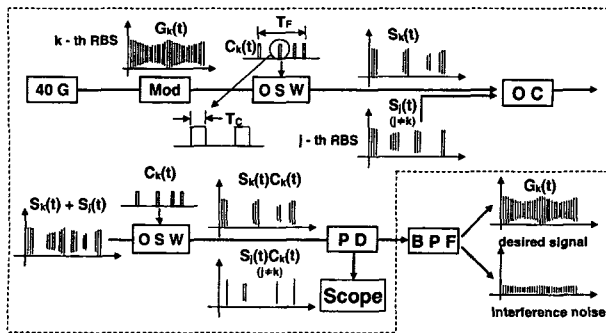


그림 2. 40 GHz DOS-CDMA 시스템의 구성도.

성된 CS에 광섬유를 통해 전송된 후 최종적으로 변복조 처리된다.

그림 2는 RBS 송신기에서 스펙트럼 확산 과정과 중앙국 수신단에서 상관 과정을 나타낸 40 GHz DOS-CDMA 시스템의 구성도이다. 어떤 k번째 RBS에서 수신된 MMW 신호는 LD를 직접 변조시켜서 광강도변조(intensity modulation: IM)된 신호로 변환된 후 어떤 $C_k(t)$ 라는 부호열에 의해 드라이브된 광스위치(optical switch: OSW)에서 on/off 스위칭되면서 스펙트럼 확산(spread spectrum: SS)을 시킨다. 이때 광스위치 출력은 부호 $C_k(t)$ 형태에 따라 펄스들이 위치하게 되는 광펄스 진폭변조(pulse amplitude modulation: PAM) 신호이며, 여러 RBS로부터 다른 부호로 부호화되어 전송된 광신호와 함께 광섬유를 통해 CS에 전송된다. 그러므로 j번째 RBS에서 부호화된 광신호는 k번째 RBS에서 부호화된 광신호와 함께 광커플러(optical coupler: OC)에서 합쳐진다. CS에 수신된 많은 광 PAM/IM 신호는 다시 광스위치에서 부호 $C_k(t)$ 에 의해 상관시켜, 해당 부호와 일치하는 신호만 복호화(decoding)된다. 즉 k번째 RBS에서 부호 $C_k(t)$ 에 의해 스위칭된 광PAM/IM 신호는 CS에서 k번째 부호 $C_k(t)$ 에 의해 복호화된다. 이 복호화된 광신호를 원래의 MMW 신호로 복원하기 위해 광검출기(PD)로 직접 검출하고, 대역통과필터(band pass filter: BPF)로 필터링하면 대역통과샘플링 이론(bandpass sampling theory)^[14-15]에 따라 보간에 의해 복원된다. 그리고 여러 혼합된 신호 속에서 필요한 정보 데이터를 얻기 위해 복조기에서 복조한다. k번째 RBS에서의 MMW 신호 $G_k(t)$ 와 광스위치 출력에서 PAM/IM 신호 강도(intensity)는 각각 식 (3), (4)로 표현된다.^[16]

$$G_k(t) = \text{Re}[m_k(t)e^{j2\pi f_c t}], \quad (3)$$

$$P_k(t) = P_s[1 + G_k(t)]C_k(t), \quad (4)$$

f_c 는 캐리어 주파수(carrier frequency), $m_k(t)$ 는 대역폭이 B_f 를 갖는 복소 포락선, P_s 는 수신된 펄스 광출력이다. $P_k(t)$ 는 주기가 T_F 인 부호열 $C_k(t)$ 에 의해 드라이브된 광스위칭에서 샘플링되므로 대역통과샘플링 신호이며, 자신의 신호 포락선 형태를 그대로 유지한 상태에서 광캐리어에 의해 운반될 수 있다. 그림 2에 나타난 것처럼 부호열 주기는 T_F 로 반복되는데, 보간 후에 MMW 신호를 복원시키기 위해서 $1/2B_f$ 와 같거나 적은 부호열 주기 T_F 를 골라야한다. 그러나 부호열 주기 T_F 를 줄이는 것보다 광스위칭 속도를 빠르게 하는 것이 더 효과적이므로 부호열 주기 T_F 는 최대한인 $T_F = 1/2B_f$ 로 놓는다.

복원되는 MMW 신호는 반송자대간섭비(carrier-to-interference power ratio: CIR)를 향상시키기 위해 앞서 2절에서 설명한 프라임 부호열을 이용하여 스펙트럼 확산역확산 시킨다. CS의 수신기에서 상관기가 k번째 프라임 부호열 $C_k(t)$ 에 의해 드라이브될 때 k번째 RBS로부터 수신된 광PAM/IM 신호를 추출하게 된다. 이때 PD에서 추출된 값을 통해 프라임 부호열의 반송자 대 간섭 전력비를 유도할 수 있으며, 식 (5)로 주어진다.^[12,17]

$$CIR = \frac{C}{I} = \frac{P^2}{\sigma_c^2(M-1)} \quad (5)$$

P는 프라임 번호이고, M은 RBS 수, σ_c^2 는 프라임 번호가 다른 몇 가지 경우에 대해 가능한 모든 프라임 부호열의 상호 상관 평균 변화를 나타내는 값이다.

V. 실험 및 결과

본 실험에서는 10 GHz 광섬유 링 레이저를 유리고조모드잠김을 이용해 진폭 균등화된 40 GHz 레이저 펄스를 발생시켜 사용하였으며,^[18] 직접 광스위칭을 위해 마하젠더 변조기(MZ-modulator: Sumitomo Cement TMZ 1.5-10)를 사용했고, 패턴 발생기(pattern generator: Agilent 8133A)를 이용해서 2.5 Gchips/sec 부호열을 만들었다. 부호 패턴은 프라임 부호와 같이 부호열 내에 1의 발생이 매우 적은 단극성 부호로서, 직교성이 상호상관 2이하(cross-correlation ≤ 2)인 임의의 두 부호 k 부호 $C_k(t) = 1000100010001000$ (16 chips)와 j 부호 $C_j(t) = 1000001000010100$ (16 chips)를 선택했다. 그림 3에서 각각 위 그림은 패턴 발생기에서 나온 전기적 패턴 신호를 나타내고, 아래 그림은 전기적 패턴 신호로 부호화 된 광신호 패턴을 나타낸다. 따라서 그림 3(a)는 k 부호로 부호화된 광신호 $S_k(t)$ 이며, 그림 3(b)는 j 부호로 부호화된 광신호 $S_j(t)$, 그림 3(c)는 부호화된 두 광신호의 합성 $S_k(t) + S_j(t)$ 를 나타낸다. 그림 4는 2.5 Gchips/sec 칩율로 부호화된 40 GHz 펄스열 중 한개 칩만을 확대한 오실로스코프 사진을 나타낸다. 그림 4(a)는 40 GHz 펄스열, (b)는 2.5 Gchip/sec 칩율의 부호열 중에 한개 칩, (c)는 한개 칩을 채우고 있는 40 GHz 펄스열을 나타낸다. 200 ps 폭을 갖는 전기적 신호 1 chip의 포락선 안에 광펄스열이

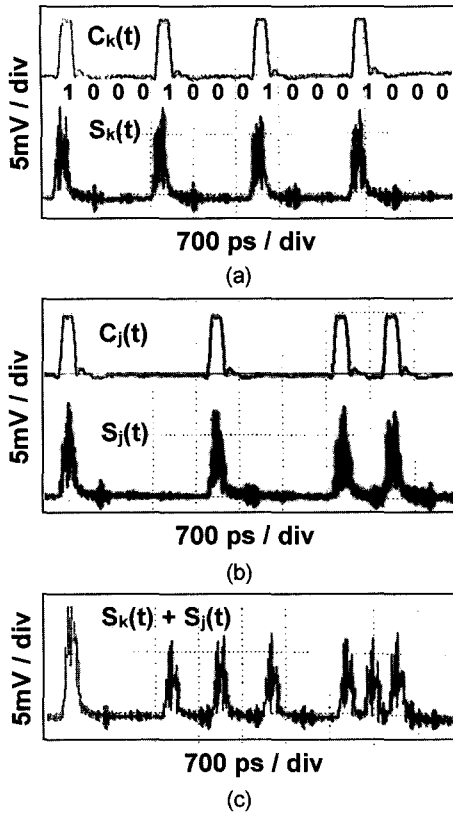


그림 3. 2.5 Gchips/sec 칩율로 부호화된 광신호. (a) k 부호로 부호화된 광신호 $S_k(t)$, (b) j 부호로 부호화된 광신호 $S_j(t)$, (c) 부호화된 두 광신호의 합성신호 $S_k(t) + S_j(t)$

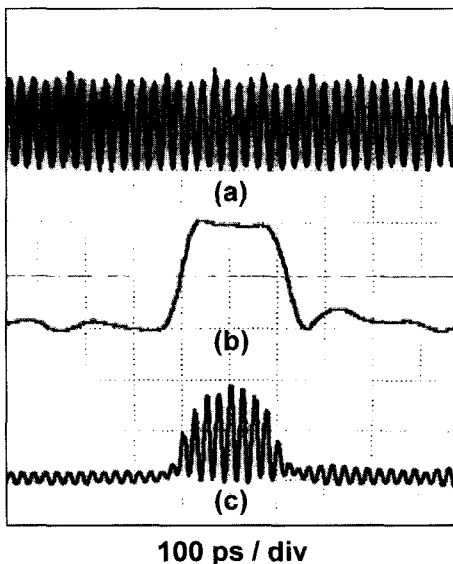


그림 4. 2.5 Gchips/sec 칩율로 부호화된 40 GHz 펄스열의 확대된 사진. (a) 40 GHz 펄스열, (b) 2.5 Gchip/sec 전기적 신호 중 부호 1 chip, (c) 40 GHz 펄스열로 채워진 부호 1 chip.

3개 정도 나타나므로 40 GHz 펄스열임을 잘 보여준다. 한편, 40 GHz 레이저 출력은 광스펙트럼 분석기(Ando AQ6317B, 0.01nm)와 45 GHz 광검출기(NewFocus 1014)를 통해 RF 스

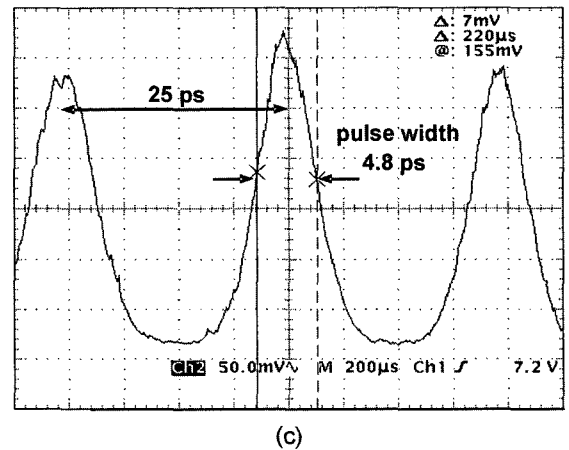
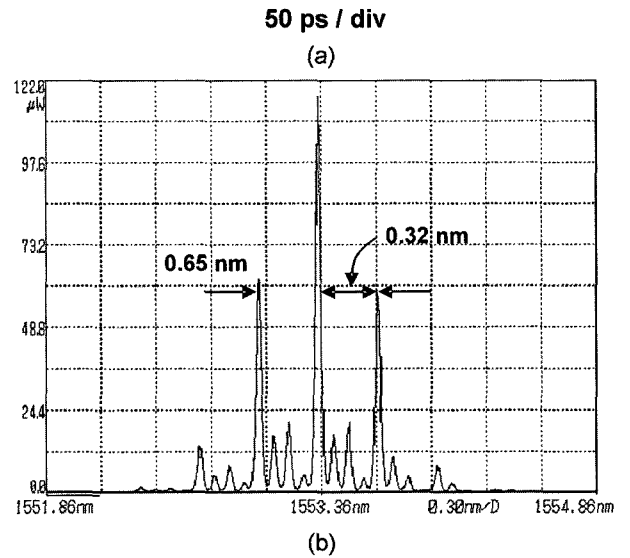
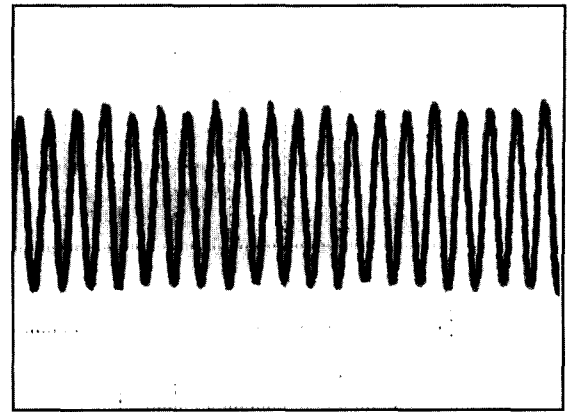


그림 5. 40 GHz 레이저 출력특성. (a) 오실로스코프 사진, (b) 광스펙트럼(반치폭 0.65 nm), (c) 자기상관(펄스폭 4.8 ps, sech^2 펄스).

펙트럼 분석기 및 50 GHz 샘플링 오실로스코프(Tektronix CSA 803 with sampling head SD-32)로 측정했고, 레이저 펄스의 펄스폭은 자기상관기(Femtochrome FR-103XL)로 측정했다. 그림 5(a)는 샘플링 오실로스코프로 측정된 40 GHz 펄스열이다. 40 GHz 펄스열의 진폭이 거의 일정하게 균등화되어 안정되었음을 확인할 수 있다. 그림 5(b)는 40 GHz 레이저 펄스

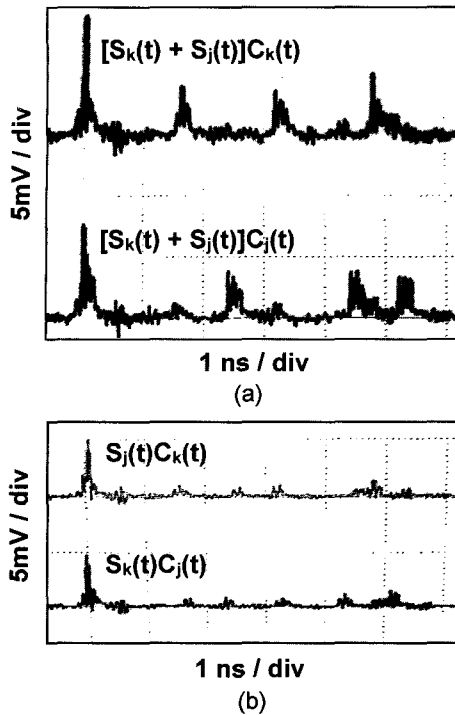


그림 6. 복호화된 신호 (a)와 간섭잡음 (b)의 오실로스코프사진.

열의 광스펙트럼을 나타내는데, 10 GHz 간격(0.08 nm)에 해당하는 모드는 억압되어 있고, 0.32 nm의 간격을 갖는 모드만 발진하고 있으므로 40 GHz 유리코주모드잠김 펄스열에 해당됨을 알 수 있다. 40 GHz 레이저 펄스열을 자기상관기로 측정된 펄스폭은 그림 5(c)에 나타낸다. 40 GHz 레이저의 펄스폭은 4.8 ps이고, 선폭은 0.65 nm였으며, 시간대역폭은 0.39로 변환제한급 sech^2 펄스에 가깝게 측정되었다.

광신호는 각 RBS에서 CS로 전송된 후에 각 RBS에서 부호화 될 때와 같은 부호에 의해 다시 복호화된다. 그림 3(a)-(c)에 나타난 것처럼 k 부호 $[C_k(t) = 1000100010001000]$ 로 부호화된 신호를 원하는 신호 $S_k(t)$ 라 하고, j 부호 $[C_j(t) = 1000001000010100]$ 로 부호화된 신호를 간섭 신호 $S_j(t)$ 라 했을 때, k번째 수신기에 $S_k(t) + S_j(t) = [1000101010011100]$ 이 수신되면, 그림 6(a)에 나타난 것처럼 k 부호로 부호화된 신호 $S_k(t)$ 만 k 부호로 복호화 되며, 간섭신호 $S_j(t)$ 는 그림 6(b)에 나타난 것처럼 제거되는 것을 확인할 수 있다. 그림 7(a)는 복호화된 신호 경우에 대한 광신호의 RF 스펙트럼이고, 그림 7(b)는 공간섭 잡음에 대한 경우의 스펙트럼이며, 정확한 신호로 복호화된 광신호와 간섭 잡음간의 차이가 20 dB 정도임을 보여준다. 부호 주파수는 156 MHz(2.5 Gcps/16)이므로 특별히 스펙트럴 에일리어싱 캔슬링(spectral aliasing canceling) 없이도 78 MHz MMW 신호 대역폭을 갖는 것을 알 수 있다(고차 대역 통과 샘플링을 통해 에일리어싱 캔슬링으로 보다 높은 대역폭을 가질 수 있다.^{[19])}. 차후에는, 실제 강도 변조된 MMW 신호를 전송하여 대역통과필터 샘플링(bandpass filter sampling)을 통해 원래의 MMW 신호를 복원하는 연구를 계속 수행할 예정이다.

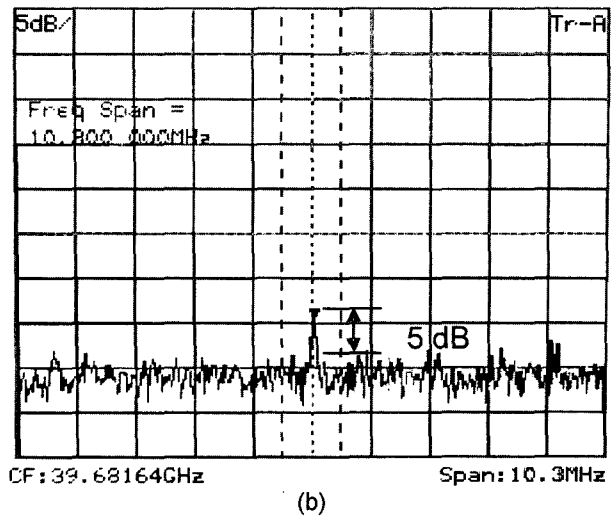
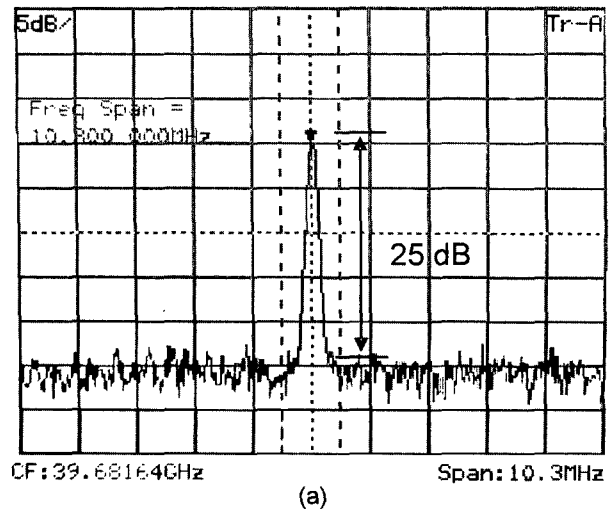


그림 7. 복호화된 신호 (a)와 간섭잡음 (b)의 RF스펙트럼.

VI. 결 론

본 연구에서는 RoF 네트워크에서 DOS-CDMA 방법으로 40 GHz MMW(millimeter wave)대역에서, 차세대 이동통신으로써 40 GHz MMW DOS-CDMA 시스템을 위한 부호화/복호화 연구를 실험적으로 수행했다. 부호화 및 복호화에 사용된 직교 부호는 프라임 부호와 같이 부호열 내에 1의 발생이 매우 적은 단극성 형태의 상호상관이 2이하(cross-correlation ≤ 2)이고 부호 길이는 16 chips이며, 칩율은 2.5 Gchips/s이다. 복호화된 광신호와 공간섭 잡음간의 RF강도차이가 필터링 없이도 20 dB 정도로 매우 우수하게 나타났다. 이는 사용된 부호가 부호열 내에 1의 개수가 적을 뿐만 아니라 서로 다른 부호열 간에 1이 동시에 발생하기 어려우므로 2절에서 설명했던 상호상관 함수 R이 거의 0에 가깝기 때문이다. 또한 부호 주파수는 156 MHz(2.5 Gcps/16)이므로 특별히 스펙트럴 에일리어싱 캔슬링 없이도 78 MHz MMW 신호 대역폭을 갖는 것을 알 수 있다. 사용자의 수가 아주 많아지면, 고차 대역 통과 샘플링 방법을 이용하여 스펙트럴 에일리어싱 캔슬링하거나 다중화 부호열중에 양극성 부호(bipolar code)를 사용하

≡ 기법을 적용시키므로써 신호 대역폭의 희생을 줄이면서 신호 대역폭을 크게 향상시킬 수 있을 것이다.

감사의 글

명지대학교에서의 연구는 한국과학재단의 특정기초(R01-2000-000-00249-0)연구 및 인하대학교의 집적형광기술 연구센터(ERC) 연구비 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] D. C. Cox, "A radio system proposal for widespread low power tetherless communication," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 39, no. 2, pp. 324-335, Feb. 1991.
- [2] S. Komaki, K. Tsukamoto, M. Okada, and H. Harada, "Proposal of radio highway networks for future multimedia-personal wireless communications," *Proc. of ICPWC'94*, pp. 204-208, Aug. 1994.
- [3] M. M. Banet and M. Kavehrad, "Reduction of optical beat interference in SCM/WDM networks using pseudorandom phase modulation," *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. LT-12, no. 10, pp. 1863-1868, Oct. 1994.
- [4] S. Park, K. Tsukamoto, and S. Komaki, "Proposal of radio highway network using a novel direct optical switched CDMA method," *MWP'96*, vol. TU4-6, pp.77-80, 1996.
- [5] T. Shokawa, *et al.*, "Experimental demonstration of interference suppression with optical polarity-reversing correlator in DOS-CDMA RoF networks," The 2nd Korea-Japan Joint Workshop on Microwave-Photonics, vol. III-4, pp. 55-58, 2001.
- [6] T. Higashino, *et al.*, *MWP'02*, vol. P3-6, pp. 233- , 2002.
- [7] T. Higashino, T. Nakanishi, *et al.*, "CIR improvement method in direct optical switching CDM RoF network," The 4th Korea-Japan Joint Workshop on Microwave and millimeter-Wave Photonics, vol. I-5, pp. 25-28, 2003.
- [8] M. Fujise, "Radio-over-Fiber transmission technology for ITS and mobile communication," *IEICE trans. Funda.*, vol. E84-A, pp.1808-1814, 2001.
- [9] D. V. Sarwate and M. B. Pursley, "Crosscorrelation properties of pseudorandom and related sequences," *Proc. IEEE*, vol. 68, pp. 593-619, 1980.
- [10] R. Gold, "Optimal binary sequences for spread spectrum multiplexing," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-13, pp. 619-621, 1967.
- [11] S. Tamura, S. Nakano, and K. Okazaki, "Optical code-multiplex transmission by Gold sequences," *J. Lightwave Technol.*, vol. LT-3, pp.121-127, 1985.
- [12] A. A. Shaar and P. A. Davies, "Prime sequences : Quasi-optimal sequences for Or channel code division multiplexing," *Electron. Lett.*, vol. 19, pp. 888-889, 1983.
- [13] A. S. Holmes and R. A. Syms, "All-optical CDMA using Quasi-prime codes," *J. Lightwave Technol.*, vol. 10, pp. 279-286, 1992.
- [14] A. Kohlenberg, "Exact interpolation of band limited functions," *J. Appl. Phys.*, vol. 24, pp. 1432-1436, Dec. 1953.
- [15] P. Z. Peebles, *Communications systems principles*, Addison-wesley, reading, Mass, pp. 305-306, 1976.
- [16] S. Kajiyama, *et al.*, "Proposal of iber-optic radio highway networks using CDMA method" *IEICE Trans. Electron.*, vol. E79-C, pp. 111-117, 1996.
- [17] W. C. Kwong, *et al.*, "Performance comparison of asynchronous and synchronous code-division multiple-access techniques for fiber-optic local area networks," *IEEE Trans. commun.*, vol. 39, no. 11, 1991.
- [18] Y. M. Jhon, Y. S. Lee, J. H. Kim, Y. T. Byun, and D. H. Woo, "Pulse-Amplitude Equalization of Rational-Harmonically Mode-Locked Fiber Ring Laser with Polarization-Maintaining Laser Resonator," to be presented at *IEEE/LEOS'03, ThD5*, 2003.
- [19] K. Kumamoto, *et al.*, "Proposal of higher-order spread spectrum direct optical switching CDMA system," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E83-B, no. 8, pp. 1753-1765, 2000.

Study on direct optical switching CDMA at 40 GHz-band for Radio-over-Fiber(RoF) system

Jae Won Choi, Young Min Jhon[†], Young Tae Byun, and Deok Ha Woo

*Photonics Research Center, Korea Institute of Science and Technology
39-1 Hawolkok-dong Seongbuk-ku, Seoul 136-791, Korea*

[†]E-mail: ymjhon@kist.re.kr

Jong Dae Park, and Dong Sun Seo

Department of Electronics, Myoung-Ji University San 38-2, Namdong, Yongin, Kyounggi 449-728, Korea

(Received August 19, 2003, Revised manuscript November 2, 2003)

We have experimentally demonstrated a Direct Optical Switching (DOS) CDMA for future wide-band mobile communication systems at the 40 GHz band by using orthogonal (crosscorrelation ≤ 2) unipolar type codes with code length of 16 and chip rate of 2.5 Gcps for radio-over-fiber (RoF) systems. Pulse-amplitude-equalized 40 GHz laser pulses were provided by rational-harmonically mode-locking a 10 GHz fiber ring laser.

OCIS Codes : 060.2330, 060.4510, 350.4010.