

主題

새로운 방식의 추가적인 Spreading Code: Quasi-Orthogonal Function

포항공과대학교 양 경 철

삼성전자 통신연구소 김재열, 김영기, 강희원

차 례

1. 서론
2. CDMA system에서의 Spreading 구조
3. Spreading Code의 성질
4. Quasi-Orthogonal Function
5. QOF의 구조
6. QOF를 위한 Spreader 구조
7. 결론

I. 서론

IMT-2000시스템은 다양한 데이터 서비스 및 고속 데이터 전송을 가능하게 할 수 있다.

IMT-2000시스템을 위한 표준화 활동이 이루어지면서 기존에 적용되지 않았던 새로운 기술들이 채택되었는데, 본 글에서는 북미 표준기구인 TIA에서 채택된 기술 중 Quasi-Orthogonal function에 대하여 기술한다.

기지국은 여러 단말기들에게 직교채널들을 통해 동시에 신호를 보내게 되어있는데, 각각의 단말기들은 전송된 신호를 식별하기 위하여 직교 Spreading Code를 사용한다.

그런데, 기존의 IS-95시스템에 있어서 기지국은

voice 서비스 위주의 단순한 채널구조(pilot, sync, paging, traffic channel)를 가지고 있었다. 반면에 IMT-2000시스템은 더 다양한 종류의 채널들을 구비하고 있으므로 IMT-2000시스템에서 단말기들이 여러 가지 채널들을 식별하기 위해서는 기존의 IS-95시스템보다 더 많은 Spreading Code가 필요하다. 실제로, 현재 IMT-2000시스템에서는 IS-95 시스템에서 사용하였던 64개의 Spreading Code보다 많은 128/256개의 Spreading Code를 사용하지만, 새로 생긴 채널의 수가 많아지고, 패킷데이터 서비스를 지원하기 위해서는 그 이상의 Spreading Code가 필요하다.

따라서, 추가적으로 사용할 수 있는 Spreading

Code가 필요한데, 추가되는 Spreading Code는 기존에 사용되는 Walsh Code와 관련하여 몇가지 만족해야 하는 성질들이 있다. 이 추가적인 Code set을 Quasi-Orthogonal function code 또는 function이라 하는데, Quasi-Orthogonal function은 Walsh Code와의 상관도 성질이 우수하고, Spreading Code로서의 성질도 우수하여 북미 TIA표준인 cdma2000에 채택되었다.

본 글에서는 Quasi-Orthogonal function을 설명하기 위하여 일반적인 Spreading의 개념과 원리, 그리고, Spreading Code로서 Quasi-Orthogonal function을 소개하기로 한다.

2. CDMA system에서의 Spreading 구조

이후의 단원에서 소개할 Quasi-Orthogonal Function은 Spreading Code로 사용되는데, 이를 설명하기 전에 CDMA System에서 Spreading 구조를 살펴보기로 한다.

만약, 학교에서 어떤 선생님이 똑같이 생긴 가방

을 가진 학생들의 가방들을 모아 두었다가 다시 각각의 학생에게 자신의 가방을 나누어 주려면 어떻게 하겠는가? 방법은 각각의 가방을 모으기 전에 이름을 붙여서 이름을 확인한 후 그 이름을 가진 학생에게 나누어 줄 것이다. 즉, 이 단원에서 설명할 Spreading Code는 위의 예에서와 같이 이름표 역할을 한다.

그림 1에서 기지국은 여러 단말기 각각에게 전송할 신호들을 동시에 모두 모아서 전송하게 되는데, CDMA방식에서 각각의 사용자에게 전송되는 신호들은 위의 예에서 이름표 역할을 하는, 각각에 할당되어지는 Spreading Code에 의해 구분된다. 실제로, 기지국이 한 사용자에게 신호를 보내기 위해서는 해당 사용자에게 그 사용자가 통신할 동안 사용할 Spreading Code를 지정하여 알려주고, 해당 사용자에게는 지정된 Spreading Code를 보낼 신호에 곱하여서 보낸다. 그러면, 사용자 단말기는 자신이 사용하는 Spreading Code를 가지고 자신의 신호를 복조한다.

위와 같은 Spreading 구조를 좀더 자세히 나타

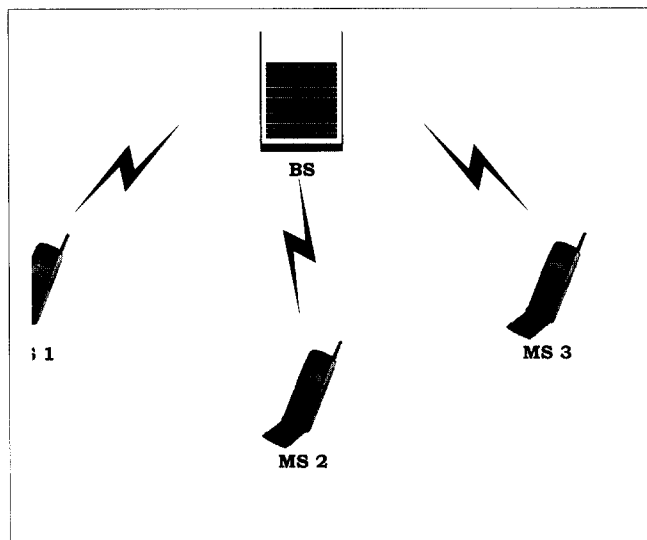


그림 1. BS와 MS

내기 위해 간단한 예를 들어보면 다음과 같다.

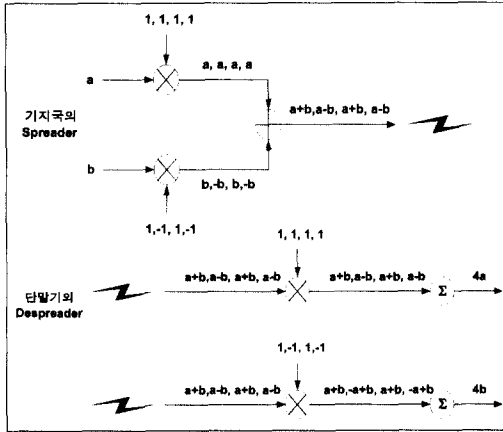


그림 2. Spreading의 원리

먼저, 기지국이 사용자 MS1에게는 1, 1, 1, 1이
 란 Spreading Code W0를 할당하고, 사용자
 MS2에게는 1, -1, 1, -1이란 Spreading Code
 W1을 할당한다. 이 때, 기지국이 사용자 MS1에게
 는 a란 신호를 보내고, MS2에게 b란 신호를 보내
 려고 하면, 그림 과 같이 사용자 MS1에게 보내고
 싶은 a란 신호는 MS1에 할당되어진 Spreading
 code W0에 각각 곱하여 a.a.a.a란 신호를 만들
 고, 사용자 MS2에게 보내고 싶은 b란 신호는
 MS2에 할당되어진 Spreading code W1에 각각
 곱하여 b, -b, b, -b란 신호를 만들어 합산한다.
 이때, 기지국은 이 합산되어진 신호 a+b, a-b,
 a+b, a-b를 송신하게 된다. 이 때, 사용자 MS1은
 기지국에서 송신된 신호 a+b, a-b, a+b, a-b를
 수신하면 자신이 사용하는 Spreading Code W0
 를 곱한 후 모두 더하면 기지국이 자신에게 보내려
 는 신호가 생성되어 진다.

즉,

$$(a+b) \cdot 1 + (a-b) \cdot 1 + (a+b) \cdot 1 + (a-b) \cdot 1 = 4a$$

또, 사용자 MS2은 기지국에서 송신된 신호

a+b, a-b, a+b, a-b를 수신하면 자신이 사용하
 는 Spreading Code W1를 곱한 후 모두 더하면
 기지국이 자신에게 보내려는 신호가 생성되어 진다.
 즉,

$$(a+b) \cdot 1 + (a-b) \cdot (-1) + (a+b) \cdot 1 + (a-b) \cdot (-1) = (a+b) + (-a+b) + (a+b) + (-a+b) = 4b$$

이러한 원리로 Spreading Code를 사용하여 각
 자의 신호를 구분해 낼 수 있다.

위의 예에서는 이해를 돕기위해 길이 4인
 Spreading Code를 사용하였는데, 실제로, IS-
 95 System에서는 길이 64인 Walsh Code를 사
 용하였고, IMT-2000 System에서는 길이128 또
 는 256인 두가지 길이의 Walsh Code를 사용하게
 된다.

3. Spreading Code의 성질

전 단원에서는 채널할당과 구분을 위한 Spread-
 er구조에 대해서 설명하였다. 그러면, 이러한 채널
 할당과 구분을 위한 Spreader구조에 있어서 우리
 가 사용하는 Spreading code는 어떠한 조건을 만
 족하여야 할까? 이 단원에서는 Spreading Code
 로서 사용되기위해 가져야할 성질을 알아본다.

전 단원에서 설명한 Despreading 과정을 수식
 으로 표현하면 다음과 같다. 단말기에 입력되는 신
 호를 r(t)라고하고, 사용하는 Spreading Code를
 W(t)라 하고 Spreading factor를 N이라 하면
 despreading 후의 신호S는

$$S = \sum_{t=1}^N r(t)W(t) = \langle r, W \rangle$$

이다.

이 때,

$$r(t) = r_{MS1}(t) + r_{MS2}(t)$$

이다.

따라서, 사용자 MS1이 자신이 사용하는 Spreading Code $W0$ 으로 입력신호를 Despreading하게 되면 출력신호는 입력 신호 $r(t)$ 와 Spreading code $W(t)$ 간의 내적으로 표현 됨을 알 수 있다. 이 때, 실제로 $r(t)$ 란 신호는 사용자 MS1에 대한 신호와 MS2에 대한 신호가 합쳐져있는 상태이므로 단말기 MS1의 입력된 신호는

$$\begin{aligned} S &= \sum_{t=1}^N r(t) W0(t) \\ &= \sum_{t=1}^N (r_{MS1}(t) + r_{MS2}(t)) W0(t) \\ &= \sum_{t=1}^N r_{MS1}(t) W0(t) + \sum_{t=1}^N r_{MS2}(t) W0(t) \\ &= \langle r_{MS1}, W0 \rangle + \langle r_{MS2}, W0 \rangle \end{aligned}$$

이다.

이 때, 위의 식에서 $\langle r_{MS2}, W0 \rangle$ 은 사용자 MS1이 MS2로 전달될 신호로부터 받는 interference이다. 따라서, 사용자MS1은 이 interference식에서 $\langle r_{MS2}, W0 \rangle$ 이 작을수록 좋다.

다시, 이 interference를 표현하면

$$\langle r_{MS2}, W0 \rangle = \langle b W1, W0 \rangle = b \langle W1, W0 \rangle$$

이 된다. 따라서, 위의 식 $\langle W0, W1 \rangle$ 이 상당히 작으면 위에서 언급된 interference를 줄일 수 있다. 이 때, 위에서 나타난 내적값에서 $\langle W0, W1 \rangle$ 을 우리는 Cross Correlation 값이라고 말하는데, 이렇게 판단원의 그림 과 같은 Spreading 구조에 있어서 우리가 사용하는 Spreading Code는 Code간의 Cross Correlation이 작아야 한다. 실제로, 현재 IS-95system 에서 사용되고 있는 Walsh Code는 Cross Correlation값이 0으로, opti-

mal 하다고 말할 수 있다.

4. Quasi-Orthogonal Function

전 단원에서는 Spreading Code가 가져야할 성질에 대해서 소개하였다. Spreading Code는 code 간의 Cross Correlation값이 최소가 되어야 하는데, 실제로 Walsh Code는 Code간의 Correlation값이 0으로 spreading Code로서는 optimal하다고 할 수 있다. 그러나, 실제로 길이 N 인 Walsh Code는 N 개 밖에 존재하지 않는다. 따라서, 위와 같은 채널구분을 위해서 사용하는 Spreading Code가 N 개 이상 필요할 상황이 일어나면 더이상 Walsh Code를 할당할 수 없다. 이와 같은 상황은 기존의 IS-95 System과 같이 pilot channel, paging Channel, sync channel, traffic Channel과 같이 channel의 종류와 갯수가 적은 System에서는 일어날 확률이 거의 없다. 그러나, IMT-2000system과 같이 아주 많은 종류의 Channel을 구비하여야하는 System에서는 충분히 일어날 수 있다. 또한, spreading factor가 작아질때, 사용할 수 있는 walsh의 수는 아주 적어지는데, 실제 시스템에서 만약 이렇게 Walsh Code를 다 사용하여 모자랄 경우에는 그 이후에 Service를 요청하는 사용자들은 모두 무시되어야 할까?

만약, 그 이후의 사용자들도 모두 Service를 하기 위해서는 Walsh code를 대체할 수 있는 어떤 Spreading code가 필요하다. 즉, 우리는 그외의 최대한 작은 interference를 가지는 Spreading Code를 구비할 필요가 있다.

QOF(Quasi-Orthogonal function)는 기존의 채널할당을 위해 Walsh Code를 사용하다가 다 사용하고 나면 추가적인 Spreading Code로 사용하는 Code로서 Walsh와의 Correlation

Property가 우수하고, QOF간의 Correlation Property가 우수한 추가적인 Spreading Code 이다.

즉, QOF는 다음과 같은 성질을 가진다.

- 1) Walsh와 QOF간의 full correlation $\leq M_{full}$
- 2) QOF들간의 full correlation $\leq M_{full}$
- 3) Walsh와 QOF간의 Partial Correlation $\leq M_{partial}$

실제로 위의 조건에서 Correlation bound M_{full} , $M_{partial}$ 은 correlation을 취하는 구간 L에 대해서 \sqrt{L} 이다.

위의 QOF구조에 대한 이해를 돕기 위하여 길이 8인 QOF에 대한 예를 들어본다.

QOF masking function 1, -1, -1, -1, j, j, j, -j로부터 생성되어지는 QOF는 위에서 언급한 조건을 만족하는 QOF를 생성한다. 이때, j는 QPSK modulation 일 때, Quadrature성분을 의미한다.

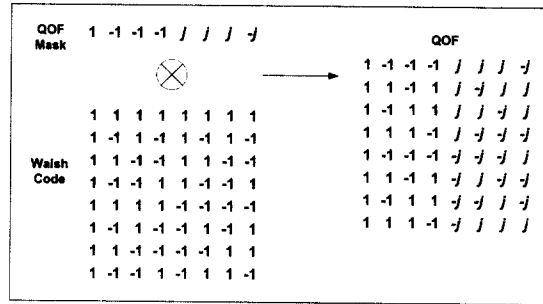


그림 4. QOF의 구조

5. QOF의 구조

전 단원에서 언급한 QOF는 채널할당을 위해 Walsh Code를 사용하다가 Walsh Code를 다 사용하고 나면 추가적으로 사용하는 Spreading Code로서 어떤 수열과 Walsh Code를 곱으로 표현되어진다. 이 때, 위의 수열을 QOF masking function이라 칭한다.

즉, QOF의 구조를 그림으로 나타내면 다음과 같다.

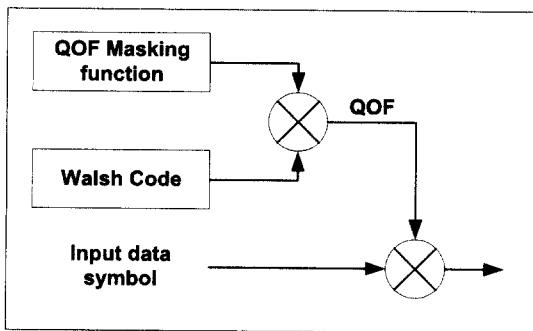


그림 3. QOF를 사용한 Spreader의 구조

Spreading Code로서 Walsh Code를 다 사용하고 더 이상의 사용할 Walsh가 없게 되어 위의 예와 같이 QOF masking function에 의해 생성되어진 8개의 QOF를 사용하면 최소한의 interference를 보장하여 Spreading Code로서 사용될수 있다. 또, 위의 예에서 알 수 있듯이 하나의 masking function에 의해 Spreading code수는 Walsh code수 만큼 증가함을 알 수 있다. 따라서, k개의 masking function이 존재하고, Walsh Code의 수가 N이라 하면 Walsh Code만을 사용했을 때보다 Service할 수 있는 Spreading Code의 개수가 $N \times k$ 로 k배 증가함을 알 수 있다.

위와 같은 구조의 QOF를 설계함에 있어서 생성되는 QOF가 전단원에서 소개한 성질을 만족하기 위해서 QOF masking function을 잘 design하여야하는데, 이 QOF masking function은 Family A sequence로부터 생성되어진다. 또한, 현재의 TIA표준에 채택되어져 있는 QOF는 복소수상의 수열로 실수상의 수열보다 우수한 Correla-

tion 성질을 갖는다.

6. QOF를 위한 Spreader 구조

전 단원에서 언급했던 예에서는 실수상의 Walsh Code로 Spreading을 수행하는 것과는 달리 QOF는 복소수상의 수열로 이루어 진다. 실제로 Spreading이란 입력 신호를 Spreading code와 곱해서 출력하는 것으로 우리가 복소수상의 QOF를 사용한다면 복소수상의 곱셈 연산을 수행하여야 한다. 따라서, 기존의 복소수 연산을 하는 H/W구조를 간단히 하기 위해 복소수열들을 Polar coordinate로 표현하여 연산을 하면 H/W complexity를 줄일 수 있다.

위의 예에서 나타남바와 같이 QOF masking function은 1, -1, j, -j 4가지복소수로 표현되어 지는데, 위의 4가지 복소수를 다르게 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 1 &\rightarrow 1 \cdot e^{j\frac{\pi}{2} \cdot 0} \\
 j &\rightarrow 1 \cdot e^{j\frac{\pi}{2} \cdot 1} \\
 -1 &\rightarrow -1 \cdot e^{j\frac{\pi}{2} \cdot 0} \\
 -j &\rightarrow -1 \cdot e^{j\frac{\pi}{2} \cdot 1}
 \end{aligned}$$

즉, 위의 복소수열들의 각 항은

$QOF_{sign} \cdot e^{j\frac{\pi}{2} QOF_{rot}}$ 의 형태로 sign 성분신호 QOF_{sign} 와 rotation 성분신호 QOF_{rot} 로 나타낼 수 있다.

실제 예로 전 단원에서 나타난 masking function f1에 대한 QOF_{sign} 과 QOF_{rot} 를 나타내면 다음과 같다. 단, QOF_{sign} 는 실수 1은 이진수 0을 실수 -1은 이진수 1을 나타낸다.

이 때, Family A sequence로부터 생성되어진 QOF masking function은 sign 성분신호와

rotation 성분신호로 분리할 수 있는데, 이 때, rotation 성분신호는 어떤 특정Walsh Code이다. 따라서, QOF를 사용하기 위해 QOF_{sign} 과 QOF_{rot} 를 모두 메모리에 저장할 필요 없이 우리는 QOF_{rot} 를 저장하는 대신 기존의 walsh generator를 사용할 수 있다. (따라서, 이제부터 표기는 $Walsh_{rot}$ 로 함)

그러므로, 우리는 사용하는 메모리를 반으로 줄일 수 있다.

f1	QOF_{sign}	01001011110111010100010000101101 00100010101101000010110101000100 01110111000111100111100011101110 00011110011101110001000110000111 10110100001000100100010000101101 11011101010010110010110101000100 10001000111000010111100011101110 11100001100010000001000110000111 11010010010001001101110110110100 01000100110100100100101100100010 00010001011110000001111010001000 10000111111011101000100000011110 11010010010001000010001001001011 01000100110100101011010011011101 00010001011110001110000101110111 10000111111011100111011111100001
	$Walsh_{rot}$	214번 Walsh Code(0-511 walsh중)
f2	QOF_{sign}	00101000111001001011111001110010 01000001011100100010100000011011 00101000111001001011111001110010 01000001011100100010100000011011 00011011110101111000110101000001 10001101101111101110010011010111 11100100001010000111001010111110 01110010010000010001101100101000 10000010010011101110101100100111 00010100001001111000001010110001 10000010010011101110101100100111 00010100001001111000001010110001 10110001011111011101100000010100 11011000111010110100111001111101 010011101000001000100111111101011 00100111000101001011000110000010
	$Walsh_{rot}$	117번 Walsh Code(0-511 walsh중)

f3	QOF _{sign}	00101011111001110100001010001110
		00010111001001001000000110110010
		11010100111001110100001001110001
		0001011111010101011111010110010
		01110001010000101110011111010100
		01001101100000010010010011101000
		01110001101111010001100011010100
		1011001010000001001001000010111
		00011000110101000111000110111101
		00100100000101111011001010000001
		11100111110101000111000101000010
		00100100111010000100110110000001
		01000010011100011101010011100111
		0111111010100100001011111011011
		01000010100011100010101111100111
10000001101100100001011100100100		
Walsh _{rot}	375번 Walsh Code(0-511 Walsh중)	

표 1. 길이 512인 QOF mask function

위와 같이 polar coordinate로 표현된 QOF를 사용하는 spreader 구조는 다음과 같다.

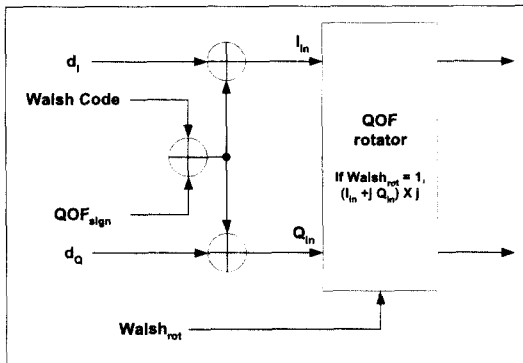


그림 5. 표준에 채택된 Spreader의 구조

7. 결론

지금까지 추가적으로 사용하는 새로운 방식의 Spreading Code인 QOF에 대하여 살펴보았다. 이 기술은 Walsh Code로 채널할당을 할 경우,

Walsh Code수가 모자라는 현상이 나타날 때, 추가적인 Spreading Code인 QOF를 사용하여 채널할당을 계속할 수 있게 함으로써 Service용량을 증대시킬 수 있는 획기적인 기술이라 할 수 있다. 또한, 현재 이 기술은 북미 TIA표준안인 cdma2000 규격에서 단말기에서는 Mandatory, 기지국에서는 Optional로 채택된 상당히 중요한 기술 중의 하나이다.

※ 참고 문헌

- [1] Peter Rha, Youngky Kim, et al., Samsungs 3G CDMA Physical Layer Proposal TR45.5.4/97.09.15.10.
- [2] Shobha Ravi, Youngky Kim, Jaeyeol Kim, Quasi Orthogonal Functions TR45.5.4./98.01.05.08
- [3] Abhijit G. Shanbhag, et al. Proposal for Improved Quasi-Orthogonal Functions, TR45.5/98.08.18.13
- [4] Abhijit G. Shanbhag, et al. Revised Proposal for Improved Quasi-Orthogonal Functions, TR45.5/98.10.19.19
- [5] S. Boztas, R. Hammons, and P.V. Kumar 4-phase sequences with near-optimum correlation properties, IEEE Trans. Inform. Theory, Vol.40, pp. 1101-1113, May 1992.
- [6] T.Helleseth and P.V.Kumar, Sequences with low correlation, in Handbook of Coding Theory, V.Pless and W.C. Huffman, Eds., Elsevier Science, 1998.
- [7] P.Sole, A quaternary cyclic code and

a family of quadriphase sequences
with low correlation properties,
in Coding Theory and Applications,
Lecture Notes in Computer
Science, vol.388, pp.193-210, New
York : Springer-Verlag, 1989.



양 경 철

1986년 서울대학교 전자공학과 공학사
1988년 서울대학교 전자공학과 공학석사
1992년 University of Southern California, 전기공
학과 공학박사
1993년 3월~1999년 2월 한양대학교 전자전기공학부
교수
1999년 2월~현재 포항공과대학교 전자전기공학과
교수
*관심분야: 디지털 통신, 부호이론, 정보보호



김 재 열

1993년 고려대학교 수학과 이학사
1996년 고려대학교 수학과 이학석사
1996년 4월~현재 삼성전자 통신연구소 전임연구원
*관심분야: Channel Coding, Sequence



김 영 기

1980. 3~1984. 2 학사, 서울대학교, 전자공학과
1984. 9~1985.12 University of Southern
California, 전기공학과 공학석사
1986. 1~1990. 5 University of Southern
California, 전기공학과 공학박사
1990.4~1993. 9 Hughes Network System에서
근무
1993.10~현재 삼성전자 수석연구원
*관심분야: IMT-2000, 무선통신 시스템, Channel
Coding

강 희 원

1991년 서울대학교 전기공학과 공학사
1994년 University of Southern California,
전기공학과 공학석사
1994년 4월~현재 삼성전자 통신연구소 전임연구원
*관심분야: 오류정정부호, 무선 통신시스템, 확산대역
통신 시스템, IMT-2000