KiDRS Korea Institute of Design Research Society 2022. Vol.7 No.1

회복력이 적용된 정수의 시각화 연구

Visualization Study of Integers Applied with Recoverability

주 저 자 : 오혁근 (Oh, Hyouk Keun) 한양여자대학교 산업디자인과 교수
ohhk2@naver.com

https://doi.org/10.46248/kidrs.2022.1.364

접수일자 2022. 2. 27. / 심사완료일자 2022. 3. 15. / 게재확정일자 2022. 3. 25.

Abstract

Visualization of irregular sequences is not only a good material for extracting accidental patterns, but visualization of numbers itself has meaning as a collaboration of aesthetics and computer science. This study was started to present a two-way structural method based on the generative theory of shape beyond the one-sided methodology of number visualization. To this end, the transition of the structure was explained through the process of extracting a raster image composed of pixels by visualizing integers from 0 to 9 as two pairs of square grids. In this way, the results of performing transfer and recoverability, which are the basic generative theory of shape, were derived. As a result of the study, it was possible not only to restore numbers, but also to express integers in arbitrary digital images. In addition, it was found that processing a large amount of images and solving some structural errors were required, but this is expected to be sufficiently resolved through collaboration with the field of computer science.

Keyword

Integer(정수), Recoverability(회복력), Transfer(전이)

요약

불규칙한 수열의 시각화는 우연적 패턴양식을 추출하는 좋은 소재가 될 뿐만 아니라, 수를 시각화한다는 것은 그 자체로 미학과 전산학의 융합으로도 의미를 지니게 된다. 본 연구는 수의 시각화라는 일방적인 방법론을 넘어서 형태의 생성 원리에 기반한 양방향의 구조적 방식을 제시하고자 시작되었다. 이를 위해, 0부터 9까지의 정수를 2쌍의 사각형 격자로 시각화하여, 화소(pixel) 단위로 이루어진 래스터 이미지를 추출하는 과정을 통해 구조의 전이를 설명하고, 역순의 작업을 통해 디지털 이미지에서 수의 개념을 복원함으로써 형태생성의 기본원리인 전이와 회복력을 수행하는 결과를 도출하였다. 연구 결과, 수의 복원뿐 아니라 임의의 디지털 이미지의 정수표현이 가능하였으며, 방대한 양의 이미지 처리와 일부 구조적 오류의 해결이 필요한 것으로 나타났으나, 이는 전산학 분야와의 협업으로 충분히 해결될 것으로 예상한다.

목차

1. 서론

1-1. 연구의 배경

본 연구는 수학적 요소들의 시각적 표현이 예술의 본질을 다양한 방법으로 재해석할 수 있고, 디자인 발상에 있어서 새로운 가치를 부여할 수 있다는 기대에서 시작되었다. 형태의 생성과 변화에서 이루어지는 단계별 과정이 상호연관되어 진다는 형태생성의 기본원리가 연구내용에 적용된다면 결과물의 가치를 증명하는 기회가 될 것이다.

그러나 기존의 시각화 연구들은 수학적 개념, 부호화, 전산화, 시각화 등의 과정을 거치는 일방적인 작업과정이며, 이는 레이튼의 구조적 전이만을 만족하고 있다는 한계를 지닌다. 수의 개념에서 시각적 이미지를 추출하는 모든 과정의 역순 작업을 통해 수의 개념을 복원할 수 있다면, 형태생성의 기본원리인 전이와 함께 회복력 이론을 만족하는 연구가 될 수 있을 것이다.

1-2. 연구의 목적 및 방법

이전에 진행하였던 소인수 분해를 이용한 시각화 연구나 무리수의 부호화 및 패턴추출 등의 연구는 일방적인 시각화 과정을 위한 연구였지만, 본 연구는 레이튼의 생성작용 회복력 원리에 부합하기 위하여 디지털 이미지를 단계별 복원과정에 의해 정수로 표현이 가능한 결과물을 도출하는데 목적이 있다.

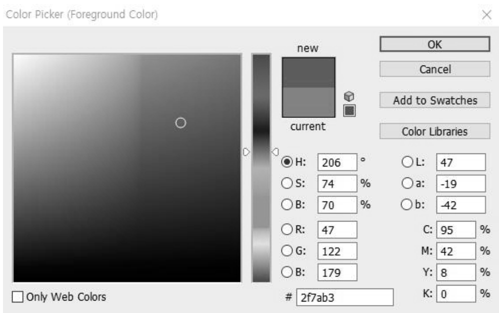
이를 수행하기 위하여, 우선 레이튼의 전이와 회복력에 대한 미학적, 전산학적 의미를 고찰하고, 기존에 연구되었던 수의 시각화에 대한 사례들을 분석하였다. 이러한 연구들 중에서 디지털 이미지를 추출하는 최적의 방식을 응용하여 전이뿐 아니라 생성작용의 회복력이 적용되어 수의 복원이 가능한 구조적 방식을 제시하였다.

2. 이론적 배경

2-1. 디지털 이미지의 전산학적 표현

디지털 이미지는 1600백만 컬러로 표현된다. 0부터 255까지의 10진법 수치를 2진법으로 변환하여 RGB를 구현하는데, 컴퓨터에 2진법이 사용되는 이유는 논리의 구성이 단순하다는 장점 때문이지만, 매우 큰 수를 나타낼 때에는 그만큼 긴 자리 수를 필요로 하기 때문에, 엄청난 용량의 데이터를 처리해야 하는 현대의 컴퓨터에서 수를 표시하는 방법으로 #2F7AB3과 같이 16진법을 쓰기도 한다. 16진수는 0~9와 알파벳 A~F를 사용하여 표시하지만, 2진법처럼 전산상에 직접적으로 관여하는 것이 아니라 큰 수를 나타내는 표기법으로만 사용된다.[1]

이 표기법에서 6개의 숫자(또는 문자)는 두 자리씩 각각 Red, Green, Blue의 수치를 표시하는데, 예를 들어, [그림 1] 하단의 #2F7AB3은 10진수로 각각 $2F_{(16)}=47$, $7A_{(16)}=122$, $B3_{(16)}=179$이므로, R-47, G-122, B-179인 색상을 표기한 것이 된다. 결과적으로 255라는 세 자리 십진수를 16진법에서는 두 자리만으로 표현할 수 있다.



[그림 1] Adobe Photoshop의 color picker

2-2. 전이와 회복력

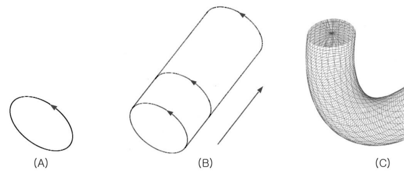
러트거스(Rutgurs) 대학의 전산학 교수 레이튼(M. Leyton)은 전산학의 구조적 개념과 직결되는 기하학의 원리를 미학적으로 해석하여, 형태의 생성은 구조 전이(Transfer)와 생성작용 회복력(Recoverability)이라는 두 가지의 극대화 원리에 기반 한다고 주장하였다. 구조의 전이는 형태의 구조적 상태가 변환하는 것을 미학의 기준으로 정의한 것으로, 형태의 생성과 변화는 각 단계의 변환에 있어서 상호관계가 있으며, 이는 마치 에너지 장의 이동처럼 상하단계에 영향을 준다는 개념이다. 또한, 전이에 의해 변형된 단계의 속성을 언제든지 복구할 수 있다는 것이 생성작용 회복력의 이론으로, 전이와 함께 형태생성의 기본원리로 작용하며, 전산학이나 기하학의 범위를 넘어, 형태라는 형식을 취하는 다양한 분야에 적용된다.[2]

---

1) 오혁근, 수, 과학 그리고 디자인, 한국학술정보, 2013, p.70

2) Ibid, p.131

[그림 2][3]에서 '정점 → 원 → 곧은 원기둥 → 변형된(휘어진) 원기둥'의 연속된 4단계는, 각 단계가 이전 단계에서 생성된 구조를 전이시키는 것으로 그 구조를 생성한다.



[그림 2] 전이에 의한 형태 산출

(A) 회전에 의해 전이된 정점(원), (B) 변환에 의해 전이된 원(원기둥), (C) 변형에 의해 전이된 원기둥(휘어진 원기둥)

또한, 레이튼은 위의 전이 사례의 역 순서가 가능한 회복력을 지녀야 하며, 이러한 회복력을 [표 1][4]과 같이 설명한다.

[표 1] 역 순서에 의한 회복력

복구	내용
변형된 원기둥 → 곧은 원기둥	변형된 원기둥은 그것의 표면에 다른 정점과 구별 가능한 다른 곡선을 지닌다. 이 곡선의 분별력을 제거하는 것으로 그 표면의 각 정점에서 같은 곡선(그것의 표면을 가로지르는 구별 불가능 곡선)을 지니는 곧은 원기둥을 획득한다.
곧은 원기둥 → 원	곧은 원기둥은 직선 방향의 위치에 의해 구별 가능한 횡단면들의 설정을 지닌다. 이 횡단면들에 의한 위치의 분별력을 제거하는 것으로 횡단면을 위한 오직 한 위치(출발 위치)를 획득한다. 즉, 원기둥의 첫 번째 원을 획득한다.
원 → 정점	첫 번째 원은 원 주위의 위치에 의해 구별 가능한 정점의 설정으로 구성된다. 이 정점에 의한 위치의 분별력을 제거하는 것으로 정점을 위한 오직 한 위치(출발 위치)를 획득한다. 즉, 원의 첫 번째 정점을 획득한다.

회복력이 현재 이용할 수 있는 것으로부터 과거의 재구성을 의미하고, 전이는 과거의 관점에서 현재를 보는 것을 의미하기 때문에 이 두 원리는 기억에 있어서 근본이 된다. 따라서 전이와 회복력의 극대화가 제공될 때, 형태는 기억저장을 극대화한다는 결정적인 개념이 도출된다.[5]

본 연구에서 진행한 정수의 시각화 과정이 전이뿐 아니라 회복력에 의한 복구도 가능하다는 점에 있어서, 레이튼의 이론을 뒷받침한다는 것을 강조하고 있다.

3. 수의 시각화 연구

3-1. 수학적 개념에 의한 시각화 연구들

MIT의 마에다(J. Maeda) 교수는 인터랙티브 프로그래밍에 관한 책 'Design by Numbers(1999)'에서 DBN이라는 소프트웨어를 소개하면서, 컴퓨터 프로그래밍을 통해 새로운 미적가치를 창출하기 위한 연구를 진행하였다. 이후, 데카르트 좌표계에 의한 정점의 위치로 3차원 정보를 표현하는 전통방식에서 벗어난 창의적인 연구들이 진행되었으며, 나아가 수학이나 전산학 이론을 바탕으로 3차원 형상이나 시각적 이미지를 추출하는 다양한 연구들이 이루어졌다.

[표 2] 수의 시각화에 관한 선행연구

저자	연구	주요 연구내용
J.Maeda	Design by Numbers (1999)	컴퓨터 프로그래밍을 통한 코드(숫자, 문자)를 기반으로 3차원 정보개념을 표현하는 연구, DBN 개발
F.F.Leymarie	The Shock Scaffold for Representing 3D Shape (2001)	3차원 표면 내부에 접하는 구들의 중심자취를 연구하여 쇼크비계(shock scaffold)라는 3차원 그래프 구조 제안
K.A.Huff	Visually Encoding Numbers Utilizing Prime Factors (2006)	소수수열의 특성을 이용하여 정수를 부호화한 3차원 시각화 작업
오혁근	소수에 의한 무한수열의 시각적 부호화 (2007)	소수나 소인수 분해와 같은 수학적 개념을 사용한 시각적 이미지 추출
오혁근	컴퓨터 미학에 의한 3차원 모델의 형태 구조화 (2008)	MA의 개념을 기초로 사물형상의 골격구조를 제안. 사물 표면 내부에 접하는 접촉구들의 성질을 활용한 형태격자(SL)라는 구조적 도식 개발
오혁근	수, 과학 그리고 디자인 (2013)	지수(exponent)의 성질을 이용한 무리수의 부호화
오혁근	불규칙 수열을 이용한 패턴양식의 추출 (2020)	수학적 개념인 소수의 불규칙한 성질을 활용하여 우연적 패턴을 추출

3) Michael Leyton, "The Foundations of Aesthetics", In P. Fishwick Ed., Aesthetic Computing, The MIT. Press, 2006, pp.297-298

4) Ibid, p.304

5) Ibid, p.303

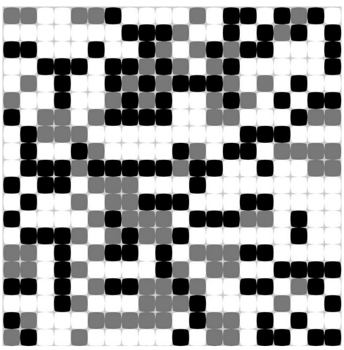
3-2. 무리수의 부호화 및 패턴추출

0~9까지의 정수 중에서 0, 2, 3, 5, 7을 시각화하고, 나머지 1, 4, 6, 8, 9는 각각 2^0, 2^2, 2·3, 2^3, 3^2으로 표현할 수 있으므로 위의 5가지 숫자(0, 2, 3, 5, 7)로 모든 수를 나타낼 수 있다.[6] 시각화 과정으로 0은 투명, 2는 백색, 3은 흑색으로 규정한 후, 지수(exponent)의 성질을 이용하여 나머지 수들을 시각화[표 4][7]하여 원주율(π)을 표현한 것이 [그림3]이다.

[표 3] 지수의 성질을 이용한 수의 시각화

수	시각화	수	시각화
0	無 無 無 無	5	
1 = 2^0	無 無	6 = 2·3	
2	無 無	7	
3	無 無	8 = 2^3	
4 = 2^2		9 = 3^2	

이 연구는 수의 부호화, 시각화 등의 일방향 전이만 가능하다는 한계가 있지만, 지수법칙을 이용한 합성수[8]의 표현, 화소형태의 시각화 등 각 단계에서 사용되는 대부분의 방식이 본 연구에 유사하게 적용된다.



[그림 3] 시각화된 원주율(π)

6) 오혁근, Op.cit, 2013, p.51

7) 오혁근, 수학적 개념을 형상화한 패턴양식의 활용, 디지털디자인학연구 통권42호, 2014, p.84

8) 1보다 큰 정수 중에서 소수가 아닌 수, 즉 둘 이상의 소수들의 곱으로 이루어진 수

3-3. 소인수 분해를 이용한 정수의 시각화

수식화에 사용된 요소는, 인수와 지수에 사용되는 1, 2, 3, 5, 7과 마지막 자리 수 ①, ③, ⑦, ③², 그리고 괄호로 이루어진다. 곱셈부호(·)는 표현하지 않으며, 제곱수의 경우 그 지수도 동일한 시각화 방식을 적용하여 인수 유닛의 상단에 표현한다. 이와 같은 요소들은 각각 [표 3]과 같은 형태로 시각화되는데, 인수와 지수에 사용되는 수는 백색유닛으로, 원문자는 흑색유닛으로 시각화된다. 또한 왼쪽 괄호는 백색의 좁은 사각 유닛으로, 오른쪽 괄호는 흑색의 좁은 유닛으로 각각 시각화된다.[9]

[표 4] 소인수 분해를 이용한 수식화 요소들의 시각화

수	시각화	끝자리 수	시각화	괄호	시각화
1		①		(	
2		③		)	
3		⑦			
5		③²			
7					

임의의 정수(1,079,916)를 2^2·3·31·2903으로 소인수 분해한 후, 인수 중에 두 자리 이상의 수(소수인수)의 마지막 자리의 수는 원문자로 표시한다. 이 때 앞자리 수와 원으로 표시된 마지막 자리 수는 괄호로 묶는다. 2^2·3(3①)(290③)

마지막 자리수를 제외한 수(290)를 다시 소인수 분해(2·5·29)한다. 2^2·3(3①)(2·5·29③)

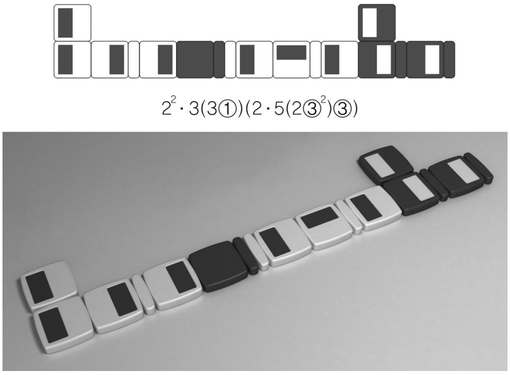
단자리 수로 표현될 때까지 같은 방법을 반복하여 모든 인수를 표현한다. 22·3(3①)(2·5(2③2)③)

소수인 경우에 마지막 자리 수를 제외한 앞자리 수들을 반복하여 소인수 분해하는 이유는 1과 단 자리의 소수(1,2,3,5,7)만으로 큰 수를 표현하기 위함이며, 소수의 마지막 자리 수를 원문자로 표현함으로써 시각적으로 소수 여부를 신속히 판별할 수 있게 된다.[10]

9) 오혁근 외, 소인수 분해를 이용한 정수의 시각적 표현, 디지털디자인학연구 통권25호, 2009, p.326

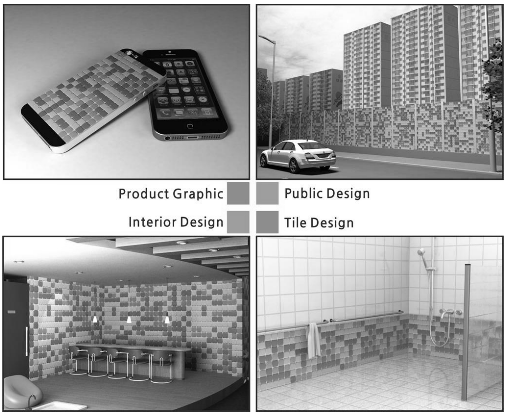
10) Ibid, p.325

[표 4]의 시각화 요소를 적용한 결과물은 [그림 4][11]와 같다.



[그림 4] 1,079,916의 시각화(2D, 3D)

3차원 모델링에 의한 입체작업은 새로운 패턴양식의 발견 외에도, 예술분야 및 제품, 환경 디자인 분야에 적용 가능성을 제시한다.[그림 5][12]



[그림 5] 수학적 개념에 의해 추출된 패턴의 적용사례

4. 회복력이 적용된 수의 시각화

4-1. 정수의 시각화 과정

본 연구의 시각화 과정은 앞에 언급한 무리수의 부호화 연구와 유사하게 0부터 9까지의 정수를 [표 5]와 같이 사각형 격자로 시각화할 수 있다. 본 연구에서는 하나의 정수를 2개의 쌍으로 시각화하는데, 이때 사용되는 색상은 3가지이다. 그러므로 3가지 색을 2개의 쌍으로 표현할 수 있는 가지 수는 3^2=9가지[13]이다. 우선, 0과 소수(0, 2, 3, 5, 7) 중 0은 회색, 2는 백색, 3은 흑색을 기본으로 규정한 후, 지수의 성질을 이용하여 1과 합성수(4, 8, 9)를 시각화한다. 마지막으로 남은 2개의 쌍으로 5와 7을 시각화한다. 물론 이 3가지 색상은 다른 색으로 교체될 수 있다.

0부터 9까지의 정수 중 유일하게 n제곱수가 아닌 6은 두 소수의 곱으로만 표현되므로 부득이하게 2×2 격자로 표현하게 된다. 그러므로 본 연구에서는 2와 3이 연속으로 등장하는 수열의 경우는 6과 동일하게 시각화되는 한계가 존재한다. 이는 시각화 과정에서는 문제가 되지 않을 수 있지만, 이후 언급할 회복력 단계를 거칠 경우 오류가 있을 수 있다.

[표 5] 지수와 곱셈을 활용한 0부터 9의 시각화

수	시각화	수	시각화
0		5	
$1 = 2^0$		$6 = 2 \cdot 3$	
2		7	
3		$8 = 2^3$	
$4 = 2^2$		$9 = 3^2$	

수를 나열할 때, 쉼표(,)로 구분하여 시각화 단계에서 사각격자가 다음 열에 배치되도록 해야 한다. 단 마지막 행의 수가 6일 경우에는 2·3을 적용하여 3을 다음 행에 배치되도록 프로그래밍을 할 필요가 있다. 이 쉼표의 의미는 생성될 디지털 이미지의 해상도와 관계되는데, 쉼표의 간격이 클수록 더욱 고해상도의 이미지가 생성됨을 의미하게 된다.

11) Ibid, p.327

12) 오혁근, Op.cit, 2014, p.85

13) 0부터 9까지를 시각화하려면 총 10개의 쌍이 필요한데 하나가 부족하다. 이는 6을 이미 시각화된 2와 3으로 표현해야만 하는 이유가 된다.

4-2. 전이와 회복력의 적용

본 연구의 내용을 레이튼의 구조 전이로 설명하자면, 우선 무작위의 수열을 위의 시각화 규정에 의해 각 정수들을 사각격자 유닛으로 시각화한다. 이어 필요에 따라 3가지 색상을 재지정한 후, 격자 유닛들을 배열하여 픽셀 단위의 디지털 이미지를 생성한다. 즉, 각 단계는 다음 단계로의 진행에 필요한 요소들을 생성하여 이 요소들이 적용된 상위(오른쪽) 단계로 전이시키는 구조를 형성한다.

[그림 6] 구조의 전이

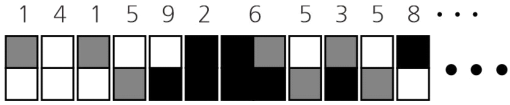
본 연구와 이전 연구의 가장 큰 차별점은 정수의 시각화 과정에 있어서 역순의 작업으로 수의 복원이 가능하다는 것이며, 이는 회복력이 존재한다는 것을 의미한다. 또한 전이에 의해 생성된 이미지는 물론이고 기존 디지털 이미지를 정수로 표현이 가능하다는 것을 의미한다.

3개의 색상을 지니는 임의의 디지털 이미지를 상하 2개의 쌍인 하나의 격자 유닛으로 구분한 후, 각각의 유닛에 규정된 정수를 부여함으로써, 원형 모델이 복구되므로 레이튼의 회복력을 지닌다는 것을 알 수 있다.

[그림 7] 생성작용의 회복력

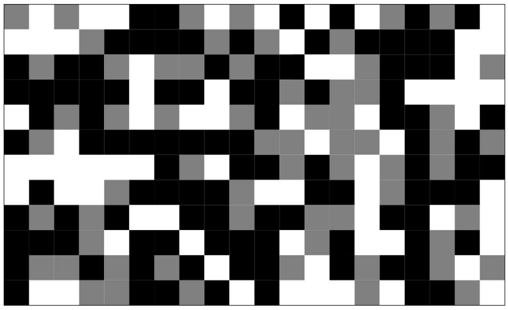
4-3. 수의 시각화 예시

위에 언급한 정수의 시각화 과정에 의해 원주율(π)의 소수점 이하 수는 [그림 8]과 같이 순차적으로 시각화할 수 있다.



[그림 8] 원주율(π)의 시각화 과정

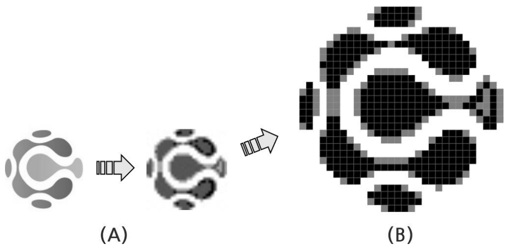
이러한 원주율(π)의 소수점 이하 110자리까지 수를 141592653,5897932384,62643383,2795028841, 971693993,7510582097,4944592307,81640628, 62089986,2803482534,211706798,214808651과 같이 쉼표로 구분하여 [그림 9]와 같은 디지털 이미지를 추출할 수 있다.



[그림 9] 원주율(π)의 소수점 이하 110자리까지를 시각화한 디지털 이미지

각 정수에 해당하는 유닛들은 그 독립성이 사라지고 전체가 하나의 패턴으로 인지되며, 역순의 과정을 통해 해당 정수로 복원이 가능하다.

또한, 임의의 디지털 이미지를 [그림 10]의 과정에 의하여 회복력의 개념인 역순 작업으로 정수를 추출할 수 있다. 단, 이미지에 사용된 색상은 3색으로 제한하여야 한다.



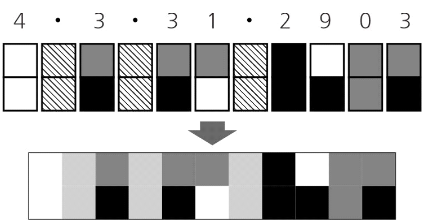
[그림 10] 원본 이미지(A), 30×30pixel 변환 이미지(B)

[그림10]의 이미지를 수열로 표현하면 다음과 같다.

444444444445322222044444444444444,4444444554
48888814599954444444,444453222699593222222
222944444,444022222781444418222222264444,44
47222714455555444872222284444,494122144522
2222295444114453 54,320400440222222222226955
5592020,22040044022222222222227811873020,724
4224447222222227144444441221,4443222544187
7711445922654444,44422226544444444592222222
24444,44412222222633332222222222284444,444448
7228144444182222227144444,4444444444932269
5441444444444,444444444441872222784444444444
444〈end〉〈Image size 30*30〉

이와 같이, 본 연구의 결과물은 전이에 의해 추출된 이미지의 역방향 과정에 의한 회복력만 가능한 것이 아니라, 일정 기준을 충족하는 임의의 디지털 이미지에서 수를 추출할 수 있다는 특성을 지닌다.

본 연구의 범위에서는 벗어나지만, 9 이상의 정수를 위의 방식으로 시각화하는 것도 가능하다. 더 이상 분해할 수 없는 소수인 경우는 위의 방법에 의해 시각화 할 수 있고, 합성수인 경우는 소인수분해하여 나열한 상태를 시각화할 수 있다. 이때 곱셈부호(·)는 새로운 색상의 사각격자를 사용하여 구분할 필요가 있다. 임의의 정수(합성수) 1,079,916을 $2^2·3·31·2903$으로 소인수 분해한 후, 다음과 같이 시각화할 수 있다.



[그림 11] 정수 1,079,916의 시각화

5. 결론

본 연구는 수학적 개념과 원리를 이용하여 디지털 이미지를 추출하는데 있어서, 레이튼의 구조 전이뿐 아니라 생성작용 회복력 원리에도 부합하기 위하여 임의의 디지털 이미지를 단계별 복원과정에 의해 정수로 표현이 가능한 구조를 제시하고 있다. 물론, 소인수 분해를 이용한 시각화 연구나 무리수의 부호화 및 패턴 추출 등의 선행연구들도 역순 작업에 의해 수의 복원이 가능하지만, 동일한 연구의 시각화 작업을 통한 결과물인 경우에만 가능하며, 임의의 디지털 이미지에서 수학적 개념을 도출하는 것은 불가능하다.

기존의 연구들이 무한수열의 불규칙성에 기반한 우연적 패턴양식의 추출이라는 공통적인 특징을 지니는 것처럼, 본 연구 또한 이러한 범주에서 크게 벗어나지는 않지만, 더불어 양방향 진행이 가능하다는 고유의 특징은 다른 연구들과 차별된다 할 수 있다. 단, 본 연구의 진행 과정에 있어서 다음과 같은 2가지 구조적 문제는 해결할 필요가 있다.

첫째, 2·3 배열과 6의 시각화 결과가 동일한 데에서 오는 오류를 해결해야 한다. 전이에 의한 디지털 이미지 추출에서는 동일한 격자로 표현되기 때문에 영향을 주지 않으나, 디지털 이미지에서 수를 복원할 때, 2·3인지 6인지 모호할 수 있다.

둘째, 기존의 디지털 이미지를 정수로 표현하는 작업을 진행할 때, 이미지의 화소 수에 있어서, 가로방향의 화소 수는 제한이 없지만, 세로방향의 화소 수는 짝수이어야 한다. 하나의 격자 유닛이 상하 2쌍으로 이루어져 있기 때문이다.

또한, 고해상도의 디지털 이미지를 정수로 표현하는 데 있어서 방대한 데이터를 처리할 수 있는 전산학적 연구가 필요하다는 것도 해결해야 할 과제이다. 하지만 이 경우는 전산학 분야와의 협업을 통해 어렵지 않게 해결될 수 있으리라 예상된다.

참고문헌

1. 오혁근, 수, 과학 그리고 디자인, 한국학술정보, 2013
2. 오혁근 외, 소인수 분해를 이용한 정수의 시각적 표현, 디지털디자인학연구 통권25호, 2009
3. 오혁근, 수학적 개념을 형상화한 패턴양식의 활용, 디지털디자인학연구 통권42호, 2014
4. Michael Leyton, “The Foundations of Aesthetics”, In P. Fishwick Ed., Aesthetic Computing, The MIT. Press, 2006