

Estimation of Urbanization Factor in Wargame Model using Fractal Dimension

Ojeong Kwon* · Jaeh Kim** · Dongchul Kim*** · Namsuk Cho****†

* Department of Industrial & System Engineering, KAIST, **Department of Data Science, Inha University
SIMNET, *Department of Military Operations Research, Korea National Defense University

Fractal 차원을 이용한 워게임에서의 도시화조정계수 추정

권오정* · 김재오** · 김동철*** · 조남석****†

*KAIST 산업 및 시스템공학과, **인하대학교 데이터사이언스학과,
(주)심네트, *국방대학교 군사운영분석학과

With rapid urbanization, the importance of urban warfare is increasing, and it is also required to reflect the characteristics of cities in wargame models. However, in the military's wargame models, the urbanization factor was calculated and used without theoretical basis. In this study, we investigate techniques for estimating the urbanization factor using Fractal dimension theory. The urbanization factor we propose can suggest a logical and valid representative value when used in conjunction with Agent Based Model and other methodologies.

Keywords : Urbanization Factor, Wargame, Fractal Dimension, Megacity Model

1. 서론

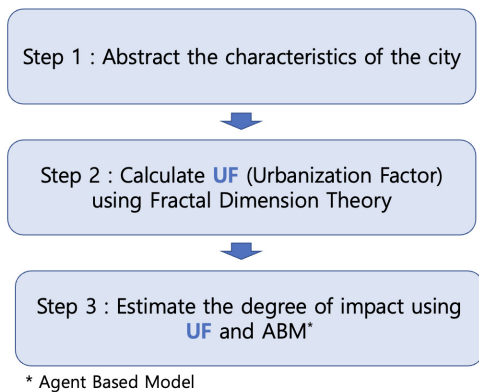
도시의 상대적인 인구밀도를 나타내는 지표인 도시화(urbanization)율이 2046년에는 85%[12]로 추정되는 등 인구 그리고 국가의 중요시설 또는 기능이 도시에 집중되는 현상이 심화되고 있다. 이는 평시 도시지역에서의 테러 또는 다양한 국지적인 군사위협에 대비해야 한다는 시급한 대책 마련뿐 아니라 전면전을 계획하고 준비하는데 있어서도 반드시 도시지역의 특성을 반영한 대비가 이루어져야 함을 의미한다. 반면, 군이 보유한 훈련용 워게임(e.g., 군단급 이상모델인 창조21, 사·여단급 모델인 전투21 등)은 전투의 공간을 대부분 산악지형이나 야지와 같은 ‘비도시지역’으로 가정하여 설계되어 있기 때문

에 도시지역(메가시티) 또는 건물지역 전투에서도 모델을 활용할 수 있도록 성능개량이 추진되고 있다. 도시지역에서의 작전을 위한 워게임 모델의 개발은 ① 현실의 도시지역 자체가 보유한 복잡성과 다양성[17], ② 워게임의 목적과 시뮬레이션 모델의 해상도(Resolution) 일치 문제, ③ 소규모군이 보유한 기존 워게임 모델의 재사용성 등의 이유로 상당히 도전적인 과제로 인식되고 있다. 먼저, 워게임 목적과 모델의 해상도 문제(②), 군이 분석 또는 훈련시키고자 하는 대상이 소부대급인 경우 3D VR(Virtual Reality) 기술 등으로 도시와 유사한 전장상황을 높은 해상도로 구현하는 것이 기술적으로 가능하다. 대표적인 군사용 시뮬레이터인 VBS4[19] 등이 여기에 해당한다. 하지만, 만약 훈련하고자 하는 대상이 여단급 이상인 경우 이처럼 높은 해상도로 시뮬레이션을 구현하는 것은 어렵고 또 바람직하지도 않다.

다음은 소규모군이 보유한 기존 모델의 재사용성 문제(③)로, 군은 전혀 새로운 모의모델을 개발하는 대신, 기존에

보유한 창조21, 전투21과 같은 모델을 성능개량하는 것으로 의사결정을 한 상태이다. 이는 곧, 모체가 되는 모델이 이미 존재하고 기존의 모의논리 테두리 안에서 도시지역작전의 특성을 반영한 추가 논리를 개발해야 함을 의미한다. 우리 군이 보유한 기존 모델의 가장 큰 특징은 식(equation)을 기반으로 모의논리를 구현한다는 점이다. 따라서 군이 보유한 위게임과 관련된 연구들은 주로 모의논리 수식을 보정하거나 개선하고[6, 16], 네트워크중심전과 같은 새로운 군사 전략을 위게임에 적용하거나[13], 또는 모의논리식을 바탕으로 인공지능, 빅데이터와 같은 최신기술을 접목[11, 14]하는 연구들로 구분되었다. 이러한 환경에서, 도시지역의 특성을 모델에 반영하기 위해서는, 기존의 모의논리 식에서도 사용될 수 있으면서, 동시에 도시지역작전의 특성을 반영한 정량화된 파라미터가 정의될 필요가 있는 것이다. 본 연구에서는 이 파라미터를 ‘도시화조정계수(UF, Urbanization Factor)’로 명명한다.

이러한 현실진단을 통해, 본 연구에서는, 매우 복잡한 도시의 특성을 전구급 해상도 모델에서 반영하기 위한 수준으로 추상화하고, 이를 이용한 적절한 도시화조정계수의 설정 방법론을 제시하며, 그것을 활용한 응용방법의 예시를 제안하고자 한다. 본 연구의 기여점이면서 연구 전체에서 적용되는 방법론의 틀은 <Figure 1>과 같다.



<Figure 1> Framework of the Research

먼저, 전투에서 영향을 미치는 도시의 특성을 추상화하고(Step 1), Fractal 차원 방법론을 활용하여 이를 추정(Step 2)한다. 이에 대한, 구체적인 설명을 제2장에서 논의한다. 다음은, 전투에서 교전결과를 모의하는 과정에서 도시화조정계수의 영향을 분석하기 위해 ABM(Agent Based Model) 시뮬레이션을 구성(Step 3)하는 단계이다. 이에 대한, 설명은 제3장에서 논의한다. 제4장에서는 교전이 아닌 다른 전장기능의 모의논리 구현으로 확장하여 도시화조정계수의 활용방안을 탐지 기능을 중심으로 소개한다. 마지막으로, 제5장에서는 연구의 한계점과 차후

연구방향을 소개한다.

2. Fractal 차원을 이용한 조정계수산정

본 장에서는 복잡하고 다양한 도시의 특성을 하나의 대푯값으로 추정할 수 있다(이것이 필요한 당위성은 1장에서 기술한 바와 같음)는 큰 전제를 가지고, 그렇다면 어떤 방법으로 그것을 할 수 있는지에 대해 구체적으로 논의한다. 본 연구에서 제안하는 방법은 Fractal 차원을 이용하는 것이다. Fractal 차원은 기하학 관점에서 어떤 공간에 패턴을 얼마나 조밀하게 채우는지에 대한 비율을 계산한다. Fractal 차원을 추정하는 방법으로는 추정하는 복잡성의 대상의 특성에 따라 Box-counting, Correlation Integral, Triangular Prism, Fractional Brownian Motion 등 여러 가지 접근법이 존재한다. Woo et al.[18]은 해안선의 길이를 일관되게 산출하기 위해 Fractal 기법을 적용하였으며, 제주도 해안선 길이의 대푯값을 정량화 하였다. Kwon et al.[9]은 수치지도상의 지형정보를 Fractal 차원으로 변환하는 방법을 제안하였다. 이처럼, Fractal 차원은 강이나 해안선 등 지형에 대한 복잡성을 측정하는데 많이 활용되어 왔다. 반면, Fractal 차원은 특정한 객체의 분포에 대한 측정방법으로도 활용되는데, 대표적으로 전국적으로 산개한 우리나라 기후관측소의 분포에 대한 밀도를 Fractal 차원으로 추정한 연구가 있으며[10], 데이터베이스의 정보를 Fractal 차원으로 정량화한 연구도 존재한다[5]. 분석대상의 확장은 도시의 특성을 Fractal 차원으로 이해하려는 연구로 이어질 수 있는데, Hwang et al.[7]은 객관화 또는 정량화하기 어려운 도시의 특성을 공간의 확장(면적)과 인구요소를 반영하여 Fractal 차원으로 해석할 수 있음을 보여주었고, Li et al.[15]은 베이징 등 6개 도시 공원의 분포와 특성을 Fractal 차원으로 분석하였다.

이러한 선행연구를 바탕으로 도시의 건물들이 보유한 자기유사성(Self-similarity)이 다른 연구의 그것과 유사하다는 점, 그리고, 군 작전에서 대표적으로 영향을 미치는 건물의 분포와 건물의 특성을 정량화 할 수 있다는 점을 바탕으로 도시지역의 도시화계수를 수치화할 수 있다는 타당성을 도출할 수 있다. 본 연구에서 제안하는 Fractal 차원 계산방법은 공간에 분포되어 있는 지점들의 집합들 구조를 계산하는데 활용되는 상관적분(two-point correlation integral) 방법을 활용하며 이는 식 (1)과 같다.

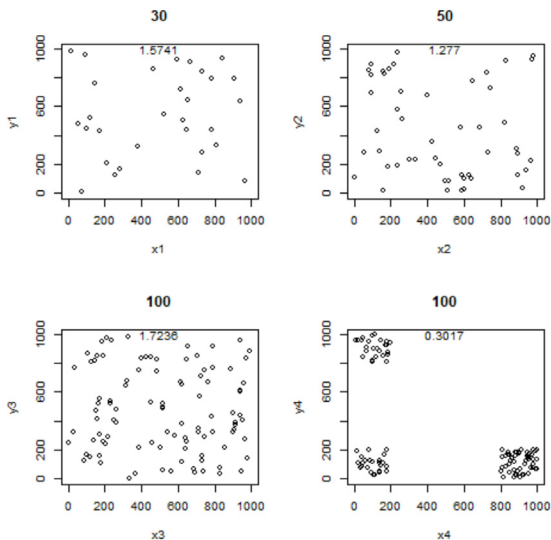
$$C(R) = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{i \neq j} H(R - \|X_i - X_j\|_1) \quad (1)$$

여기서, C(R)은 주어진 임의의 실수인 R 값보다 작은 두

지점의 거리의 개수를 구하는 함수로 생각할 수 있다. 파라미터 N은 총 건물의 개수를 의미하고, $H(z)$ 는 $z \geq 0$ 이면 1의 값을 갖고, 다른 경우 0의 값을 가지는 Indicator 함수이다. $H(z)$ 함수 안에서 계산되는 Norm은 공간에 분포되어 있는 모든 건물들 간의 거리를 계산한다(이때, X_i 는 어떤 건물 i의 2차원 공간 상 좌표를 의미한다). 다른 상관적분 방법과 다르게 연구진은 Norm의 Metric을 1-norm으로 제시하는데, 이는 두 건물의 거리를 계산할 때 Euclidean 거리보다 Manhattan 거리 방식이 더 타당하기 때문이다. 다만, 일반화된 도시에서 R 값을 특정할 수 없기 때문에, 50개 이상의 R 값을 사전에 지정하여 C(R)을 조사한 후, 상관적분에서의 척도불변(Scale-invariance)과 관측사항의 분포가 Fractal 구조를 따른다는 가정 하에 도출될 수 있는 $\log(C) \propto D \log(R)$ 관계를 이용하여 식 (2)와 같은 선형중위수 회귀모형을 구축하여 회귀식의 기울기를 Fractal 차원으로 계산한다.

$$\log(C) = \beta + D \log(R) \tag{2}$$

이때, β 는 회귀식의 intercept 값이며, R은 식 (1)에서 정의한 임의의 실수이며, D값이 Fractal 차원의 추정치이다. 선형중위수 회귀모형은 조건부평균이 아닌 조건부중위수를 추정하는 모형으로 일반적인 선형회귀모형에 비해 이상치(outlier)에 강건한 특징이 있어 건물간 거리에 대한 Fractal 차원을 추정하는데 합리적이다. 식 (1)과 (2)를 통해 도출된 Fractal 차원의 예시는 <Figure 2>와 같다. <Figure 2>의 x축과 y축은 2차원 공간상의 좌표를 의미하며, 그림 상단의 숫자는 건물의 개수를 의미한다. 또한, 그림에서 보이는 점의 분포는 도시지역에서 건물



<Figure 2> Example of Fractal Dimension with Different Choice of N and Distribution

의 분포로 추상화될 수 있으며, 건물의 개수와 분포(밀집도)에 따라 다양한 Fractal 차원값이 계산되며, 건물의 개수가 동일할 때 그 분포에 따라 다른 차원값이 나타나는 것을 확인할 수 있다(i.e., <Figure 2>의 아래 그림).

<Figure 2>에서 나타난 점은 모두 동일한 특성을 가진 건물로 가정할 수 있는데, 실제 도시에서는 다양한 형태의 건물이 존재한다. 예를 들어, 면적이 넓은 대지에 낮은 층수를 가진 건물 또는 좁은 대지에 고층 건물이 존재하기도 한다. 즉, 건물의 분포 뿐 아니라 건물의 특성이 도시화조정계수를 산정하는데 중요한 요인이 될 수 있다. 이를 반영하기 위해 연구진은 건물의 특성을 높이와 넓이 두 가지 독립변수로 정의하고, 두 변수를 조합하여 p개의 건물유형을 정의한다. 예를 들어, 5층 이하 100m²이하의 건물군이 유형 1이라면, 6~10층 높이에 100~200m² 넓이 건물군을 유형 2로 분류하는 것이다. 이 분류기준은 사용자의 정의에 따라 얼마든지 다르게 제시될 수 있고, 그 기준에 따라 도시화조정계수의 값은 다르게 도출되지만 방법론의 일반성을 해치지 않기 때문에 예시로만 제안한다. 만약, 어떤 도시의 건물들이 이와 같이 p개의 유형으로 분류되면, 앞서 제안한 상관적분 방법으로 각 유형의 Fractal 차원을 계산하고 도시 전체의 Fractal 차원(i.e., UF)은 식 (3)과 같이 가중평균으로 계산할 수 있다.

$$UF = \sum_{i=1}^p w_i D_i \tag{3}$$

여기서, w_i 는 유형 i의 가중치이며, D_i 는 해당유형에 속하는 건물들로부터 계산된 Fractal 차원을 의미한다. 가중치를 결정하는 방법은 다양하지만, 본 연구에서는 ‘건물의 체적이 크면 클수록 건물을 점거하고 있는 방자에게 유리하다’는 가정을 설정하고[8] 사전에 계산된 D_i 값들을 활용한 Rank Sum Method로 p개의 유형에 대한 가중치를 계산한다. 예를 들어, <Table 1>과 같이 어떤 도시에 3개의 건물유형이 존재하고, 각각의 Fractal 차원이 도출되었다고 가정하면, 최종 도시화조정계수는 $(1.79 \times 0.5) + (1.66 \times 0.33) + (1.46 \times 0.1667) = 1.686$ 으로 계산될 수 있다. 각 Fractal 값에 곱해진 가중치는 방어에 유리한 순서대로 Rank Sum하여 계산된 값이다.

<Table 1> Example for Determining Weight

Type	Advantage for Defense	Fractal
1	good	1.79
2	moderate	1.66
3	bad	1.46

3. ABM을 활용한 도시화조정계수의 교전 영향 평가

2장에서 도출한 UF값은 특정한 도시의 도시화조정계수 대푯값이며 해당도시의 복잡성 등을 나타내지만, 그 값이 실제 전투에서 어떻게 영향을 미치는지를 확인하려면 구체적인 가정이 추가되어야 한다. 예를 들어, 모의의 대상이 공자인지 방자인지에 따라, 그리고 그 대상이 건물지역 안에 있는지 또는 밖에 있는지에 따라, 또는 교전의 성격이 직사화기인지 곡사화기인지 등 다양한 형태로 도시의 영향이 다르게 발현되기 때문이다. 따라서, 본 연구에서는 2장에서 추정된 UF 값을 활용하여 구체적인 전투상황에서의 영향을 평가하는 방법으로 ABM 시뮬레이션을 활용하는 방안을 제시한다. 다만, 영향평가를 위해 별도의 시뮬레이션 모델을 제작하는 것은 비효율적이므로, 본 연구에서는 군사적 응용에 특화되어 제작된 ABM 툴인 MANA(Map Aware Non-uniform Automata) [1] 모델을 활용한다.

MANA 모형은 뉴질랜드에서 제작한 확률기반 에이전트 위게임 모델로 미 해병대 편제의 변화에 따른 전투성과를 예측하거나[4], 다수의 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)의 활용방법을 검토하는데 사용되는 등[2] 그 효과성과 신뢰성이 검증된 모델이다. 시나리오의 제작이 간편하고 직관적인 ABM 모델을 활용하여 다양한 형태의 전투시나리오를 평가할 수 있는데, 본 논문에서는 직사화기 전투에서 공자와 방자의 영향요소를 판단하는 방법을 예시로 설명한다.

다만, MANA 모델도 다른 여타의 모델과 같이 도시지역 전투에 대한 시나리오 작성을 지원하거나 관련한 파라미터를 포함하고 있지 않다. 따라서, 건물을 일반적인 장애물로 가정하고 은폐와 엄폐(Concealment and Cover) 파라미터를 이용하여 도시지역전투 상황을 설계하였다. 또한, 작전지역의 건물의 분포(MANA모델에서는 장애물

의 분포)를 Fractal 차원을 계산한 도시지역의 모습과 동일하게 설계하였다. 예를 들어, <Figure 3>은 MANA모델에서 청군과 홍군이 전투하는 모습을 구현한 장면인데, 다수의 건물이 장애물의 형태로 표현된 것을 볼 수 있다. <Figure 3>에서 보는바와 같이 장애물을 건물의 분포와 유사하게 설정하고, 건물지역을 사전에 확보하고 있는 방자에게는 은·엄폐 파라미터의 조정을 통해 건물지역의 영향을 모사(mimic)하는 것으로 설정하였다.

도시지역에서의 영향요소를 도출하기 위해서는, 도시가 아닌 동일한 시나리오에서의 전투 시뮬레이션 실험이 병행되어야 하며, 따라서, 실험의 MOE(Measure of Effectiveness)를 식 (4)와 같이 정의할 수 있다. 각 실험에서는 특정한 도시지역 Instance별로 30회의 Replication을 시행하여 그 평균값을 대푯값으로 계산한다.

$$\text{도시지역영향} = \frac{\text{도시에서 Blue(방어) / Red(공격)의 손실비}}{\text{평지에서 Blue(방어) / Red(공격)의 손실비}} \quad (4)$$

식 (4)의 값은 고유한 Fractal 차원을 가진 특정한 도시에 대한 영향평가이므로, Fractal 차원을 변경시키면서 위의 실험을 반복하여 식 (5)와 같은 회귀식을 도출할 수 있다(F검정결과 유의수준 95%에서 유의, p-value: 0.049).

$$\text{도시지역영향} = 0.186 - 0.025 \times UF \quad (5)$$

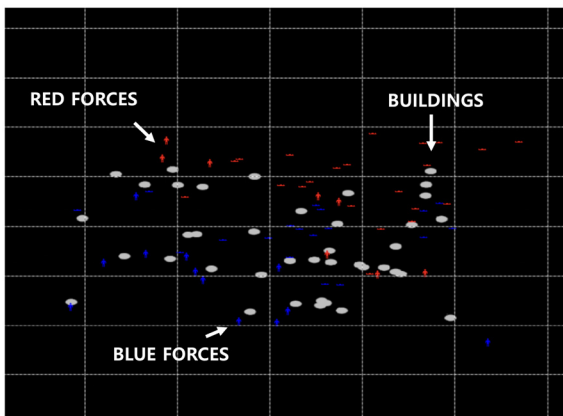
식 (5)를 활용하여, 최종적으로는, 직사화기 교전결과에 도시조정계수를 적용할 수 있는데, 예를 들어 <Table 2>에서 제시한 바와 같이, 일반 야지에서 공자가 100, 방자가 50의 피해가 발생하였다고 가정하면, 도시지역에서는(UF가 1.0일 때) 공자의 피해는 동일하되(기준점의 역할) 방자의 피해가 8.1명으로 감소하는 것을 나타낸다.

<Table 2> Example for Adjusting Combat Results where UF = 1.0

	Blue(Defense)	Red(Attack)
Field	50	100
City	50 → 50 × 0.161* = 8.1	100 → 100
* 0.161 = 0.186 - 0.025 × 1 by (5)		

이와 동일한 절차로, 곡사화기 교전에 대한 도시화 조정계수를 회귀식으로 도출할 수 있으며, 이는 식 (6)과 같다. (이때, p-value값은 0.046이다.)

$$\text{도시지역영향} = 0.843 - 0.221 \times UF \quad (6)$$



<Figure 3> Example of MANA Simulation

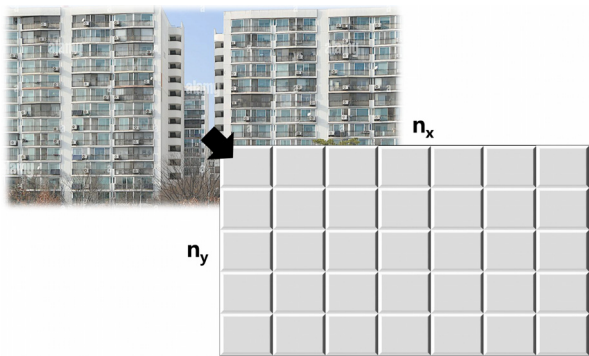
4. 도시화 조정계수의 응용

3장에서는 Fractal 차원을 이용하여 교전 결과를 평가하는 방법에 대해 논의하였다. UF값은 교전 외에 다른 전장기능에서도 응용 활용될 수 있는데, 예를 들어 도시지역에서의 부대 이동 시 도시의 혼잡도에 따른 이동지연계수 산정 또는 장애물의 효과 증대와 같은 다양한 모의논리 산출 시 활용가능하다. 본 장에서는 UF값을 탐지조정계수의 추정을 위해 어떻게 활용할 수 있는 설명함으로써 도시화 조정계수의 응용성을 살펴본다.

창초21과 같은 대부대급 위게임 모델에서 어느 부대가 특정한 단위시간 T 동안 적을 탐지하는 확률은 식 (7)과 같이 정의된다.

$$P(T) = 1 - \exp\left(-\int_0^T z dt\right) \quad (7)$$

이때, z 는 단위 시간당 탐지횟수를 의미한다. z 값을 계산 시 전장환경의 많은 파라미터를 고려하는데 센서의 민감도, 표적의 특성, 탐지 거리, 부대의 전술적 행동여부, 연막, 기탐지 여부, 지형/식생에 따른 조정계수 등이 여기에 해당한다. 여기에 더해, 현재 소요군의 위게임 모델에서는 도시화의 정도[3]에 따라 마을, 읍, 소도시, 중도시, 대도시로 구분하여 지정된 도시화 탐지계수 또한 적용하고 있다. 하지만, 전국의 도시를 소·중·대로 지나치게 단순화하여 탐지계수를 추정하고 있기 때문에, 0에서부터 2까지의 연속공간에서 값을 가지는 UF 값을 참조할 경우 보다 세밀한 도시작전 묘사가 가능해 진다. 이를 위해, 먼저 <Figure 4>에서 보는 것처럼, 일반적인 형태의 건물을 가로는 N_x , 세로는 N_y 개로 구성된 셀의 형태로 가정한다. 이때, 전체 셀의 개수는 $N = N_x \times N_y$ 이라고 한다.



<Figure 4> Abstraction of Building

전투 중 전투원이(또는 부대) 탐지를 시도하는 방법을

Random Search로 가정하면 특정한 셀을 선택할 확률은 $p_r = 1/N$ 이며, 이때, 특정 셀에서 탐지가 성공할 확률을 p_d 라고 정의한다. 각 탐지의 행위는 독립이며, i 번째 Glimpse에서 처음으로 표적을 탐지할 확률은 식 (8)과 같이 정의되며, Random Search에서 일별 평균탐지 횟수의 기댓값을 식 (9)과 같이 정의할 수 있다.

$$p_i = (1 - p_r p_d)^{i-1} p_r p_d \quad (8)$$

$$E(\text{탐지}) = \frac{1}{p_r p_d} \cong \frac{N}{p_d} \quad (9)$$

식 (9)를 통해, 평균탐지 횟수의 기댓값은 Cell의 개수에 비례하고, 특정 셀에서 탐지가 성공할 확률인 p_d 에는 반비례하는 것을 알 수 있다. 이는 기댓값이 건물의 체적에 비례하는 것을 의미하며, 2장에서의 논의결과를 통해 Fractal 차원 값과 비례한다는 소결론을 이끌어낼 수 있다. 따라서, 도시지역에서의 탐지율 조정계수는 식 (10)과 같이 정의할 수 있으며, 이때 $\gamma > 0$ 값으로는 탐지조정계수를 0과 1 사이값으로 표준화하기 위해, $\gamma = 2$ 를 사용할 수 있다.

$$\text{탐지조정계수} = 1 - \frac{UF}{\gamma} \quad (10)$$

예를 들어, 만약, 서울 강북구의 Fractal 차원 값을 1.2로 가정하면 ($UF=1.2$) 해당지역에서는 탐지조정계수값으로 0.4를 추정할 수 있는 것이다.

5. 결 론

본 연구는 그동안 소요군의 위게임 모델에서 이론의 뒷받침 없이 설정되어 운용되던 도시화조정계수의 추정 방법에 대해 Fractal 차원 이론을 바탕으로 논의하였다. 향후 성능개량되는 위게임 모델은 도시정보를 높은 해상도로 DB화하여 운용되기 때문에 이 정보를 바탕으로 작전지역의 Fractal 차원을 계산할 수 있고 교전결과, 탐지결과 등과 같은 전장기능 모의에서 이를 활용할 수 있을 것이다. 다만, 교전결과 추정값의 신뢰도가 연구진이 선택한 ABM모델에 지나치게 의존된다는 한계점이 존재한다. 이는, 연구의 validation 과정과도 연계되는데, 도시지역에서의 실전 데이터 부재와, 선진국 도시지역작전 모의모델의 접근제한 등에 따라 현재 우리 군이 선택할 수 있는 현실적인 대안은 여러 연구에서 활용되어 그 신뢰성이 검증된 모델(본 연구에서는 MANA 모델)을 활용하는 방법이라는 점에서 이해가 필요할 것이다. 본 연구가 현재 위게임 모의논리의 큰 틀이 유지된다는 성능개량의

방향성 하에서 이루어졌기 때문에 도시화조정계수라는 단일값의 추정만을 그 대상으로 하였지만, 향후 높은 해상도의 새로운 모델이 개발될 경우 보다 복잡한 도시지역의 특성들이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

이 논문은 ‘육군 합성전장훈련체계(Build-I) 체계개발사업’을 위한 연구과제로 수행되었음.

References

- [1] Anderson, M.A., Agent-based modelling in the new zealand defence force, *Defence and Homeland Security Symposium*, 2013.
- [2] Anderson, M.A., Exploring a Rural Guard Scenario using MANA, DTA Report 246, 2008.
- [3] Baek, D.H. and Yoon, Y.J., A research for conducting successful urban operation in Korean peninsular, *Journal of Convergence Security*, 2015, Vol. 15, No. 3, pp. 53-62.
- [4] Crispell, C.G., Simulation Analysis of USMC HIMARS Employment in the Western Pacific, [Dissertation]. [Monterey, CA, US]; Naval Postgraduate School, 2022.
- [5] De Sousa, E.P.M., Traina, C., Traina, A. and Faloutsos, C., How to use fractal dimension to find correlations between attributes, In *Proc. KDD-Workshop on Fractals and Self-similarity in Data Mining: Issues and Approaches*, 2002.
- [6] Han, S., Moon, H., and Kim, J., A study on the solution for similarizing damage assessment results of interoperating constructive models with different simulation logic of close combat, *Journal of the Military Operations Research Society of Korea*, 2020, Vol. 46, no. 2, pp. 1-14.
- [7] Hwang, H.Y., Song, S., and Jo, J.H., Comparative analysis of urban interactions on urban spatial expansion and fractal phenomena: Focused on the Seoul, Seongnam, Bucheon, Anyang, *Journal of Korea Planning Association*, 2011, Vol. 46, No. 7, pp. 115-133.
- [8] Jung, S., Cho, S., and Hong, S., A Study on the Analysis of Combat Effectiveness for Terrain Using Fractal. *Korean Institute of Industrial Engineers Spring Conference Proceeding*, 2007, pp. 372-375.
- [9] Kwon, K.W., Jee, H.K., and Lee, J.D., The Analysis of Terrain and Topography using Fractal, *Journal of The Korean Association of Regional Geographers*, 2005, Vol 11, No. 6, pp. 530-543.
- [10] Kim, H.K. and Lee, Y.S. Lee., A study on the density analysis of climatological stations using the correlation integral method in the fractal dimension, *Journal of the Korean Data and Information Science Society*, 2013, Vol. 2, Vol. 24, No. 1, pp. 53-62.
- [11] Kim, T. and Moon, H., A Study on Automated Method of Determination of Fire Rate and Accuracy of Red-team Artillery in Constructive War-game Model for Training, *Journal of Military Science and Technology Studies*, 2021, Vol 14, No. 1, p. 65.
- [12] KOSIS Statistical Info. (Search : '22.12.12)
- [13] Lee, K, Cho, K., and Lee, C., A proposal of the advanced logic for the wargame applying the concept of NCW, *Journal of Korea Institute for Defense Analysis*, 2011, Vol. 26, No. 4, pp. 127-155.
- [14] Lee, Y., Park, M. and Kim, Y., A Study on the Method for Converting the Unit Database from Training-model into Analysis-model: Focused on the “Chang-Jo21” and ‘Vision21’ model, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 2019, Vol.28, No.2, pp. 159-167.
- [15] Li, Z, Zhao, W, Nie, M. Scale characteristics and optimization of park green space in megacities based on the fractal measurement model: A case study of Beijing, Shanghai, Guangzhou, and Shenzhen, *Sustainability*, 2021, Vol. 13, <https://doi.org/10.3390/su13158554>.
- [16] Moon, H., A Study on an Expert system for close combat battlefield situation assessment in wargame models using machine learning, *Korean Journal of Military Art and Science*, 2018, Vol. 74, No.3, pp. 315-335.
- [17] Park, H., A study on ways to foster revolution in military affairs considering the change in megacity operations environment, [thesis], [Seoul, Korea], Hanyang University, 2022.
- [18] Woo, H., Kwon, K.S., Kim, B.G., and Cho, S. H., Application of fractal dimension on consistent calculation of coastline length: Focused on Jeju Island, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, 2016, Vol.24, No.4, pp.83.
- [19] VBS Homepage, <https://vbs4.com/>

ORCID

- | | | |
|--------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Ojeong Kwon | | http://orcid.org/0000-0003-0973-357X |
| Jaehoh Kim | | http://orcid.org/0000-0001-7831-6353 |
| Dongchul Kim | | http://orcid.org/0000-0002-2934-4056 |
| Namsuk Cho | | http://orcid.org/0000-0003-2754-3120 |