마코프 체인을 이용한 월별 범죄율 예측에 관한 연구

박정민*, 박구락**

요약

현대 사회는 다양한 범죄가 발생하고 있고, 이러한 범죄를 예측하기 위한 연구가 지속적으로 수행되고 있다. 그러나 변화하는 범죄를 예측하기 위해서는 기존 연구 외에도 추가적인 연구가 필요하다. 따라서. 본 논문에서는 마코프 체인을 적용한 범죄 예측 모델링을 제안한다. 여러 범죄 중 3가지 범죄를 선택하여 범죄 발생 데이터를 만든 후, 범죄 예측 모델링에 적용하여 미래에 발생할 범죄발생건수를 예측하였고. 그 결과 범죄 예측 발생 건수와 미래에 발생한 실제 범죄 발생 건수가 유사함을 보였다. 그리고 범죄발생예측모델링의 유효성을 증명하기 위해, 예측된 범죄 발생건수와 실제 발생 건수를 상관계수를 이용하여 비교하고 분석하였다. 그 결과 범죄예측 모델링의 유효성을 증명하였다.

A Study on the Prediction of Crime Probability by month using Markov Chains

Jung-Min Park*, Koo-Rack Park**

ABSTRACT

Scientists are researching continuously about prediction of various crimes in modern society. However, the needs of additional research are increasing. So this paper proposes a new crime prediction modeling apply to Markov chains. The result of using this crime prediction modeling was similar to the number of actual criminal occurrence when I inputted 3 kinds of criminal data. The analysis of correlation coefficient between the actual number of criminal occurrence and the number of predicted criminal occurrence proved the effectiveness of the crime prediction modeling. The analysis of correlation coefficient between the actual number of criminal occurrence and the number of predicted criminal occurrence proved the effectiveness of the crime prediction modeling.

Key Words : simulation, markov chains, crime statistics, predictive modeling, risk forecasting model

---

* 공주대학교 컴퓨터공학과(✉sweetmin71@kongju.ac.kr)
** 공주대학교 컴퓨터공학과
· 제1저자(First Author) : 박정민 · 교신저자(Correspondent Author) : 박구락
· 접수일(2011년 1월 5일), 수정일(1차 : 2011년 2월 7일), 게재확정일(2011년 2월 10일)

Ⅰ. 서 론

최근 사회는 단기간의 놀라운 산업의 발전과 최첨단 정보 기술의 보급으로 삶의 질이 향상되는 반면에 실업, 빈곤, 범죄와 같은 다양한 문제가 동시에 발생하고 있다. 특히 범죄에 관련된 문제는 사회가 급변하듯이 이전의 연구 방식으로는 예측이 어렵게 변화하고 있는 실정이다. 이러한 범죄현상을 예측하기 위한 다양한 범죄 예측 연구가 진행되어 왔다. 지역별로 범죄 위험지수를 산출하여 확률 지도를 생성하는 방법론에 관한 연구가 있었고[1], 범죄자와 피해자 거주공간의 공간적 분포를 통하여 범죄현상의 특정 패턴과 원인 도출을 목적으로 한 연구도 있다[2][3]. 범행 장소의 공간적 분포와 범죄 발생의 시간적 특성화를 통해 연쇄범죄를 예측하는 방법도 제안되었다[4]. 그러나 시간의 흐름에 따른 수학적 확률 측면의 범죄 예측 모델은 없는 것으로 알고 있다. 본 논문에서는 이산 확률 과정인 마코프 체인 예측 방법을 제안하여 과거 데이터를 토대로 산출한 예측값을 3개의 범죄 유형별로 실제값과 비교하여 증명한다. 또한 상관계수를 통해 유형별 관련성을 입증한다.

Ⅱ. 관련연구

2.1 마코프 체인

본 논문에서는 범죄 예측에 새로운 방법으로 마코프 체인을 이용한 범죄 예측 방법을 제시하였다. 마코프 체인은 과거의 동적 특성을 분석하여 미래에 있을 변화를 예측하기 위한 수학적 기법이다[5].

마코프 체인 값 $X(t)$가 시간이 지남에 따라 변화하는 값이고, $t_1 < t_2 < \cdots < t_k < t_{k+1}$에 대해 t_k는 현재, t_{k+1}은 미래, $t_1, \cdots, t_{k-1}$은 과거로 정의하면,

$$
\begin{aligned}
&P[a < X(t_{k+1}) = x_{k+1} | X(t_k) = x_k, \cdots, X(t_1) = x_1] \\
&= P[X(t_{k+1}) = x_{k+1} | X(t_k) = x_k]
\end{aligned}
$$

로 기술된다[6]. 마코프 체인 기법은 공동주택에서 확률적 접근 방식을 통해 재실자 행동을 예측하는 연구에 사용 되고 있으며[7], 주문 수요의 패턴에 따른 예측으로 미래의 주문 패턴에 대한 주문량을 추정하는 연구[8] 등 많은 분야의 예측 연구에 적용되고 있다.

2.2 상관계수

상관계수는 두 변수간의 상관 밀접도를 수치로 나타낸 것이다. 방법네트워크 침입 탐지 시스템에 상관계수의 척도를 적용한 연구가 있으며[9], 상관계수와 거리계수를 조합한 혼합형 분류척도로 인식하는 방법을 제시하는 연구[10] 등 다양한 분석 방법으로 사용되고 있다. 본 논문에서는 상관계수를 적용하여 마코프 체인을 이용한 범죄 예측 연구의 유형별 특이성에 따른 유의성을 증명하고, 두 변수간의 명확한 관계성을 상관관계를 통해 어느 정도의 연관성이 있는지 분석하였다. 상관계수는 다음과 같은 조건을 갖는다[11].

$0.8 \le |r|$ -> 강한 상관있음
$0.6 \le |r| \le 0.8$ -> 상관있음
$0.4 \le |r| \le 0.6$ -> 약한 상관있음
$|r| \le 0.4$ -> 거의 상관없음

즉, 상관계수는 상호 관련성이 높으면 절대 값이 1에 가깝고, 낮으면 0에 가깝게 나타난다.

상관계수의 값 산출 식은 식(1)과 같다.

$$
r = \frac{S(xy)}{\sqrt{S(xx)S(yy)}} \tag{1}
$$

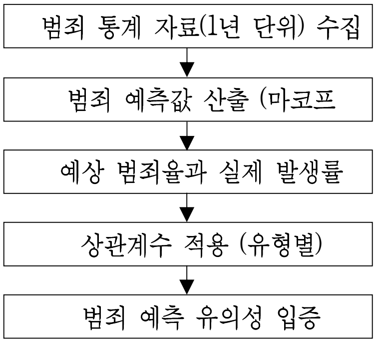
단, r은 상관계수로서, x와 y는 두 변수이고,

$S(xx)$는 x의 편차제곱의 합, $S(yy)$는 y의 편차제곱의 합, $S(xy)$는 x와 y의 편차곱의 합이다.

III. 범죄 예측 과정

3.1 범죄 예측 방법

다음 [그림1]은 마코프체인을 이용한 범죄 예측 과정을 단계별로 보여준다.



[그림 1] 범죄 예측 단계별 프로세서
[Fig. 1] Crime prediction step processor

대검찰청 전산망을 통해 수집한 범죄 통계 데이터를 바탕으로 초기확률과 전이행렬 값을 생성한다. 마코프 체인에 적용하여 예상 범죄율 값을 산출한다. 그 값을 실제 범죄 발생율과 비교한다. 상관계수를 적용해서 각 범죄 유형별 관련성을 도출하는 동시에 마코프 체인법의 유의성을 입증한다.

3.2 범죄 예측 방법의 구성

범죄 통계 자료 중 3개 유형의 범죄(살인, 강도, 절도)를 예측하였다. 마코프 체인을 적용한 예측값은 상태집합, 초기확률, 전이행렬로 구성되어 있다.

◎ 상태집합(S): 범죄 통계 자료로 적절한 임계값을 설정하여 상태를 집합으로 정의하였다.

◎ 초기확률: 상태집합에서 정의된 임계값 상태에서 의 초기 발생확률로서 식(2)와 같이 정의한다.

$$P(S_1, S_2, \cdots, S_n) = P(\frac{a}{F}, \frac{b}{F}, \cdots, \frac{c}{F}) \quad (2)$$

여기서 $a, b, c,$는 각 상태인 $(S_1, S_2, \cdots, S_n)$의 발생횟수, F는 a,b,c의 합이다.

◎ 전이행렬: 상태간 전이확률을 식(3)과 같이 정방행렬로 나태낸 것을 전이행렬이라 정의하고, 각 행의 합은 1인 조건을 갖는다.

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2n} \\ \cdots & \cdots & P_{ij} & \cdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nn} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{n} P_{1j} = 1, \quad \sum_{j=1}^{n} P_{2j} = 1, \quad \cdots \quad , \quad \sum_{j=1}^{n} P_{nj} = 1 \; P_{ij} \geq 0$$

◎ 범죄 발생 확률: 마코프 체인 식(4)를 적용한다.

$$P(S_k) = \sum_{i=1}^{n} P(S_i) P_{ik} \quad (4)$$

$P(S_i)$:초기확률, P_{ik}: 전이행렬

◎범죄 발생 건수: 예상 범죄 건수를 식(5)를 이용하여 산출한다.

$$\text{예상 범죄 발생 건수} = \sum_{i=1}^{n} P(S_i)\, M(S_i) \quad (5)$$

n: 범죄 발생 상태집합의 상태 수
$P(S_i)$: 범죄 발생 예측 확률

$M(S_i)$:범죄 발생 건수의 평균값

3.3 마코프 체인 적용

3.3.1 범죄 유형별 (살인)

[표 1]은 범죄 발생 건수 유형 중 2003년 1월부터 2007년 12월 까지 발생한 살인의 발생 건수를 나타낸 것이다. 데이터를 분석하여 구분한 임계값의 범위와 발생 상태(S)를 정의하였다.

표 1. 범죄 발생 건수(살인)
Table 1. The incidence of crime (murder)

	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년
1월	65	74	78	74	96
2월	69	76	72	69	83
3월	89	78	93	82	104
4월	92	98	93	81	89
5월	90	92	88	105	96
6월	79	95	113	96	91
7월	101	126	108	110	103
8월	82	108	103	114	98
9월	94	107	106	85	104
10월	97	88	105	92	108
11월	70	79	66	78	82
12월	83	61	66	78	70

▶ 임계값의 범위

S_1:0~80 S_2: 81~110 S_3: 111~140

▶ 범죄 발생 상태(S)

$S = \{ S_1, S_2, S_3 \}$

식(2)를 이용하여 2007년 8월 ~ 12월까지 발생한 범죄 발생 건수를 바탕으로 초기확률을 구한다.

▶ 범죄 발생 건수 : 98, 104, 108, 82, 70

→ S_2, S_2, S_2, S_2, S_1

▶ 초기확률 : P(S_1:1 S_2: 4 S_3: 0)

→ P(0.20 0.80 0)

[표 1]의 범죄 발생 건수를 임계값의 범위에 매핑하여 상태들을 나타낸다.

$$S_1\,S_1\,S_2\,S_2\,S_2\,S_1\,S_2\,S_2\,S_2\,S_2\,S_1\,S_2$$
$$S_1\,S_1\,S_1\,S_2\,S_2\,S_2\,S_3\,S_2\,S_2\,S_2\,S_1\,S_1$$
$$S_1\,S_1\,S_2\,S_2\,S_2\,S_3\,S_2\,S_2\,S_2\,S_2\,S_1\,S_1$$
$$S_1\,S_1\,S_2\,S_2\,S_2\,S_2\,S_2\,S_3\,S_2\,S_2\,S_1\,S_1$$
$$S_2\,S_2\,S_2\,S_2\,S_2\,S_2\,S_2\,S_2\,S_2\,S_2\,S_2\,S_1$$

나열된 각 상태{ S_1, S_2, S_3 }에서 다른 상태로의 전이 되는 횟수를 식(3)을 이용하여 확률로 나타낸 상태 전이행렬은 식(6)과 같다.

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{ccc} S_1 & S_2 & S_3 \end{array} \\ \begin{array}{c} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{array} & \begin{pmatrix} 0.59 & 0.41 & 0 \\ 0.18 & 0.74 & 0.08 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \end{array}$$

(6)

또한 식(6)을 상태전이다이어그램으로 나타내면 [그림 2]와 같다.

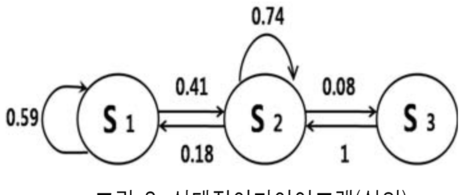


그림 2. 상태전이다이어그램(살인)
Fig 2. State transition diagram (murder)

식(4)를 이용하여 앞에서 산출된 전이행렬과 초기

확률 값을 적용하면 식(7)과 같이 범죄 발생 확률을 예측 할 수 있다.

$$(0.20 \;\; 0.80 \;\; 0)\begin{pmatrix} 0.59 & 0.41 & 0 \\ 0.18 & 0.74 & 0.08 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \qquad (7)$$

$$= (0.26 \quad 0.67 \quad 0.06)$$

다음달에 살인 범죄의 발생 예상 확률은 식(7)의 결과 값에 따라 S_2 상태일 때 0.67로 가장 높다. 따라서 S_2 상태인 81~110 사이에서 발생 할 것으로 예상할 수 있다. 여기서 $M(S_i)$ 값은 마지막 5개월의 범죄 발생 건수 합의 평균값이다. S_2의 확률 값과 $M(S_i)$ 값을 적용하여 식(8)과 같이 범죄 발생 건수를 예측한다.

$$\text{예상 범죄 발생 건수} = \sum_{i=1}^{n} P(S_i)\, M(S_i) \qquad (8)$$

$$= 0.67 \times 92.4$$

$$= 61.9 \fallingdotseq 62$$

결론적으로 2008년 1월에 예상된 건수는 약 62건이었고, 실제 발생한 2008년 1월에 범죄 건수는 66으로 유사함을 알 수 있다.

3.3.2 범죄 유형별 (강도)

[표 2]는 범죄 발생 건수 유형중 강도의 발생 건수를 나타낸 것이다.

표 2. 범죄 발생 건수(강도)
Table 2. The incidence of crime (burglary)

	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년
1월	443	311	360	352	326
2월	498	397	323	319	362
3월	611	856	557	380	377
4월	541	687	535	457	426
5월	568	895	512	724	503
6월	492	435	558	381	423
7월	801	444	410	344	311
8월	771	391	429	306	351
9월	1217	406	473	357	401
10월	454	324	481	321	422
11월	446	318	302	383	261
12월	485	298	326	360	287

앞 절에서와 같이 임계값의 범위를 정의하고, [표 2]의 마지막 5개월인 2007년 8월에서 12월의 범죄 발생 건수를 식(2)에 대입하여 다음과 같이 초기확률을 구한다.

▶ 임계값의 범위
S_1:0~350 S_2:351~700 S_3: 701~1,050 S_4:1,051-1,400
▶ 초기확률 : P(S_1: 2 S_2: 3 S_3: 0 S_4: 0)
→ P(0.40 0.60 0 0)

임계값의 범위를 이용하여 정의된 상태들로부터 각각의 상태 {S_1, S_2, S_3, S_4}에서 다른 상태로의 전이 횟수를 산출하여 상태전이확률을 식(3)을 이용하여 정방행렬로 나타내면 식(9)와 같다.

$$\begin{array}{c|cccc} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \\ \hline S_1 & & & & \\ S_2 & & & & \\ S_3 & & & & \\ S_4 & & & & \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{matrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \end{matrix} \\ \begin{pmatrix} 0.36 & 0.64 & 0 & 0 \\ 0.26 & 0.64 & 0.10 & 0 \\ 0 & 0.60 & 0.20 & 0.20 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{array}$$

(9)

전이행렬과 초기확률의 산출 값을 마코프 체인을 적용한 식(4)에 대입하여 구하면, 식(10)과 같이 범죄 발생확률을 계산할 수 있다.

$$(0.40 \quad 0.60 \quad 0 \quad 0)\begin{pmatrix} 0.36 & 0.64 & 0 & 0 \\ 0.26 & 0.64 & 0.10 & 0 \\ 0 & 0.60 & 0.20 & 0.20 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$=(0.30 \quad 0.64 \quad 0.06 \quad 0)$$

식(10)에서 다음 달에 강도 범죄가 발생할 확률은 S_2 상태일 때 0.64로 가장 높다. 즉 다음 달에 발생할 강도의 발생 건수는 S_2 상태인 351~700 사이에서 발생 할 것으로 예측 할 수 있다. 이것을 식(5)에 적용하여 식(11)과 같이 범죄 발생 건수를 구한다.

$$\text{예상 범죄 발생 건수} = \sum_{i=1}^{n} P(S_i)\, M(S_i) \quad (11)$$

$$= 0.64 \times 339$$

$$= 230.748 \fallingdotseq 231$$

강도 범죄 유형의 2008년 1월에 예상 범죄 발생 건수는 약 231건, 2008년 1월에 발생한 실제 범죄 건수는 263건으로 예측값과 실측값을 비교하면 유사함을 알 수 있다.

3.3.3 범죄 유형별 (절도)

마지막으로 절도 범죄 유형에서도 마코프 체인 값을 적용하여 범죄 발생 건수를 예측하여 본다.

[표 3]은 절도의 발생 건수를 월별로 데이터화 하여 나타낸 것이다.

표 3. 범죄 발생 건수(절도)
Table 3. The incidence of crime (theft)

	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년
1월	10,765	7,392	12,691	13,576	16,277
2월	12,673	10,070	9,733	12,544	16,056
3월	16,179	16,397	14,655	14,060	16,310
4월	16,595	14,478	14,472	15,412	17,759
5월	18,161	15,302	16,095	18,794	20,917
6월	15,090	12,894	17,441	16,696	21,130
7월	18,253	13,260	17,261	13,819	16,019
8월	18,141	13,822	18,116	13,835	15,714
9월	21,370	12,183	17,539	15,978	16,380
10월	14,239	12,975	20,412	17,762	21,152
11월	12,864	13,607	16,007	19,936	17,763
12월	13,541	12,470	16,692	18,342	17,053

앞 절에서와 같이 임계값의 범위를 정의하고, 2007년 마지막 5개월의 절도 발생 건수를 식(2)에 대입하여 다음과 같이 초기확률을 구한다.

▶ 임계값의 범위

S_1:0~10,000 S_2: 10,001~14,000 S_3: 14,001~18,000 S_4:18,001~22,000

▶ 범죄 발생 상태(S)

S = { S_1, S_2, S_3, S_4 }

▶ 초기확률 : P(S_1: 0 S_2: 0 S_3: 4 S_4: 1)

→ P(0 0 0.80 0.20)

같은 방법으로 전이확률을 상태전이행렬로 식(3)과 같이 정방행렬로 나타내면 식(12)와 같다.

$$\begin{array}{c|c} & \begin{matrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0.50 & 0.50 & 0 \\ 0.12 & 0.65 & 0.23 & 0 \\ 0 & 0.13 & 0.60 & 0.27 \\ 0 & 0 & 0.80 & 0.20 \end{pmatrix} \end{array} \tag{12}$$

전이행렬과 초기확률 값을 식(4)에 대입하여 식(13)과 같이 범죄 발생확률을 계산할 수 있다.

$$(0\ \ 0\ \ 0.80\ \ 0.20)\begin{pmatrix} 0 & 0.50 & 0.50 & 0 \\ 0.12 & 0.65 & 0.23 & 0 \\ 0 & 0.13 & 0.60 & 0.27 \\ 0 & 0 & 0.80 & 0.20 \end{pmatrix} \tag{13}$$

$$= (0\ \ 0.10\ \ 0.64\ \ 0.26)$$

즉, 다음 달의 절도 범죄 발생 건수는 S_3상태에서 발생 할 것으로 예측 된다. 또한 $M(S_i)$ 값은 마지막 5개월의 범죄 발생 건수 합의 평균값이다. 이러한 S_3 상태 값과 $M(S_i)$ 값으로 식(14)와 같이 발생 건수를 예측한다.

$$\text{예상 범죄 발생 건수} = \sum_{i=1}^{n} P(S_i)\, M(S_i) \tag{14}$$

$$= 0.64 \times 17612.4$$
$$= 11{,}272$$

결과적으로 절도의 예상 범죄 발생 건은 11,272건이며, 2008년 1월에 발생한 실제 범죄는 12,913건으로 유사함을 알 수 있다.

Ⅳ. 상관계수 적용과 유의성 입증

4.1 예측값과 실제값 비교

살인, 강도, 절도 3개의 범죄 유형별로 마코프 체인을 적용하여 범죄 건수를 예측했다. 유형은 다르지만 마코프 체인을 적용한 결과 예측값이 모두 실제값과 유사한 것을 확인하였다.

표 4는 3개의 범죄를 각각의 유형별로 범죄 예측값을 구하였을 때 이러한 범죄별 범죄 예측 모델 값과 실제 발생 값을 범죄 유형별로 묶어 비교한 것이다. 범죄 발생 예측값 중 2월과 3월은 앞 절에서 적용한 마코프 체인을 적용하여 산출했다.

표 4. 범죄 유형별 예측 모델링의 발생 건수와 실제 범죄 발생 건수
Table 4. The number of types of crime predictive modeling and the actual incidence of crime

구 분		1월	2월	3월
살인	범죄 발생 예측값	62	51	39
	실제 범죄 발생값	66	50	69
강도	범죄 발생 예측값	231	247	197
	실제 범죄 발생값	263	233	436
절도	범죄 발생 예측값	11,272	10,597	8,351
	실제 범죄 발생값	12,913	12,047	16,056

4.2 상관계수 적용

마코프 체인을 적용한 범죄 발생 건수 예측의 유효성을 입증하기 위해 관련이 있어 보이는 범죄 발생의

유형별로 두 변수간의 상관계수를 분석했다. [표 4]의 값을 바탕으로 살인과 강도, 강도와 절도간의 상관계수를 다음 [표 5]과 같이 산출하였다. 그 결과를 식(1)에 적용하여 보면 강도-절도의 경우 매우 강한 상관관계가 있음을 도출하였고, 예측값과 실제값의 상관계수가 매우 유사한 것으로 마코프 체인 예측값의 유효성을 동시에 입증함을 확인 할 수 있다.

표 5. 상관계수
Table 5. The correlation coefficient

구 분	1월	2월	3월	상관계수
범죄 발생 예측값(살인)	62	51	39	살인-강도 : 0.68 강도-절도 : 0.86
범죄 발생 예측값(강도)	231	247	197	
범죄 발생 예측값(절도)	11,272	10,597	16,056	
실제 범죄 발생값(살인)	66	50	69	살인-강도 : 0.72 강도-절도 : 0.9
실제 범죄 발생값(강도)	263	233	436	
실제 범죄 발생값(절도)	12,913	12,047	16,056	

V. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 마코프 체인을 이용하여 범죄 예측 방법을 제시하였고 3개 범죄의 월별 발생 건수를 이용하여 범죄 예측시스템의 예측값과 실제 발생률을 비교해 보니 많은 부분 유사하였다. 또한 각 유형별로 두 변수 간에 상관계수를 이용하여 비교 분석하여, 본 논문에서 구성한 마코프 체인 적용 연구의 유효성을 향상시켰다. 또한 이전의 범죄 예측 연구와 달리 시간의 흐름에 따른 범죄 발생 건수를 이용한 수학적이고 확률적 접근의 새로운 범죄 예측 기법을 제시하였다. 그러나 마코프 체인은 예외적인 요소와 먼 미래를 예측하기는 어려운 단점이 있다. 향후에는 이러한 단점을 보안한 예측연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] 김동현, 박구락, "도시공간정보 기반의 범죄발생 확률 모형 및 위험도 확률지도 생성," *한국컴퓨터정보학회논문지*, 제 14 권, 제 10 호, pp207-215, 2009.

[2] Brown, M.A., "Modelling the Spatial Distribution of Suburban Crime," Economy Geography, Vol. 58, No 3, pp. 247-261, July 1982.

[3] Kamber, T., Mollenkopt, H., and Ross, A. "Crime, Space, and Place : An Analysis of Crime Patterns in Brooklyn", inn Goldsmith V., Mguire G., Mollenkopf, H. and Ross, A.(eds.), Analyzing Crime Patterns: Frontiers of Practice Sage, pp121-136, 2000.

[4] 홍동숙, 김정준, 강홍구, 이기영, 서종수, 한기준, "시공간 분석 기반 연쇄 범죄 거점 위치 예측 알고리즘," *한국공간정보시스템학회 논문지*, 제 10 권 제 2 호, pp.63-79, 2008.

[5] Charles M. Grinstead, "Introduction to Probability: Second Revised Edition", American Mathematical Society, pp405-406, 1997.

[6] 김영갑, 백영교, 인호, 백두권, "마코프 프로세스에 기반한 확률적 피해 파급모델," *정보과학회논문지*, 제 33 권, 제 8 호, pp524-534, 2006.

[7] 김영진, 박철수, "마코프체인을 이용한 공동주택 재실자 예측모델," *한국 건축친환경설비학회 2008 년 추계 학술대회 논문집*, pp116~121, 2008.

[8] 여건민, 전치혁, "On/Off 패턴을 따르는 수요에 대한 마코브 예측모델," *한국경영과학회, 1996 년 학술대회논문집* 제 1 권, pp. 491~494, 1996.

[9] 문길종, 노봉남, 김용민, "상관계수 가중치를 이용한 상대복잡도에 의한 척도선정," *한국인터넷정보학회, 한국인터넷정 학회 정기총회 및 추계학술발표대회*, 제 9 권, 제 2 호, pp. 547~550, 2008.

[10] 홍성준, 조용현, "상관계수과 거리계수의 조합형 척도를 이용한 영상인식," *한국지능시스템학회, 한국지능시스템학회 논문지*, 제 20 권, 제 3 호, pp. 343~347, 2010.

[11] 김재현, 김영호, 안웅, "*통계 및 응용*,"pp.237~253,

연학사, 2008.

저자소개

박정민(Jung-Min Park)

2007년 공주대학교 정보과학과 (공학사)
2011년 공주대학교 멀티미디어공학과 (공학석사)
2011년~현재 공주대학교 컴퓨터공학과 박사과정
※ 관심분야 : 멀티미디어, 시뮬레이션, 모바일컴퓨팅

박구락(Koo-Rack Park)

1986년 중앙대학교 전기공학과 부전공:전자계산(공학사)
1988년 숭실대학교 대학원 전자계산학과(공학석사)
2000년 경기대학교 대학원 전자계산학과(이학박사)

1991년~현재 공주대학교 컴퓨터공학부 교수
※ 관심분야 : 경영정보, 정보통신, 전자상거래, 멀티미디어