Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol.21, No.3, pp.25-34, October 2002

동적 교통 시스템의 인지공학적 평가에 관한 연구*

Cognitive Model-based Evaluation in Dynamic Traffic System

강명호**, 차우창***

ABSTRACT

The road sign in dynamic traffic system is an important element which affects on human cognitive performance on driving. Web-based vision system simulator was developed to examine the cognition time of the road sign in dynamic environment. This experiment was designed in within-subject design with two factors; vehicle speed and the amount of information of the traffic sign. It measured the cognition time of the road sign through two evaluation methods; the subjective test with vision system simulator and computational cognitive model. In these two evaluations of human cognitive performance under the dynamic traffic environment, it demonstrated that subject's cognition time was affected by both the amount of information of traffic sign and driving speed.

Keyword: cognitive model, traffic simulation, model human processor, perception

* 본 논문은 금오공대 일반과제로 수행되었음
** 금오공과대학교 산업시스템공학과
주소 : 730-701 경상북도 구미시 신평동 188
전화 : 054-467-4424
E-mai : mh1004@hanmail.net
*** 금오공과대학교 산업시스템공학과
전화 : 054-467-4318 Fax : 054-467-4476
E-mail : chaw@kumoh.ac.kr

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

1. 서 론

자동차 운전시 도로 표지는 운전 시 필요한 정보를 담고 있으므로 그 중요성이 높다 하겠다. 국내의 표지판에 대한 연구는 정부 차원에서 도로교통법, 교통안전법 등 교통환경을 고려한 연구가 주축을 이루고 있으며, 전문적이고 인지 공학적인 구체적인 연구는 매우 미약한 상태라 할 수 있다(김정룡, 곽종선, 이돈규, 1999).

뿐만 아니라 인간의 시지각과 관련하여 정적(static) 상황에서 많은 연구가 이루어져왔다. 그러나 실제 도로 및 운전상황은 다분히 동적이므로 동적인 상황에서의 인지공학적 연구가 절실히 필요하다고 하겠다.

동적인 상황에서의 인간성능 평가는 실제 도로에서의 실험 평가(field test)와 모델(model)을 통한 평가가 있다. 실제 도로에서의 평가는 물리적 도로상황의 변경이 불가능하고, 운전자 조건은 윤리적인 문제에도 봉착하게 된다. 또 각 피실험자에 대하여 동일한 실험 조건을 제시하는 재현성을 확보하는 문제도 발생하게 된다. 이에 비해 모델을 통한 평가는 실제 도로에서의 평가에서의 문제점을 모두 보완할 수 있을 뿐만 아니라, 다양한 조건에서의 실험 및 동일한 장면과 조건을 재현할 수 있으므로 경제적으로도 이점이 있다(이순철, 2000).

본 연구에서는 도로표지의 인지시간을 측정하기 위해 시야에 비치는 동적인 운전 상황을 재현한 시뮬레이터를 개발하였다. 시뮬레이터를 통하여 도로 표지를 인지하는 시간을 측정하고, 차량 속도와 도로표지의 정보량이 인지시간에 미치는 영향을 파악하였다. 표지판 인지시간의 예측가능성의 확인을 통해 Model-based 평가의 가능성을 살펴봄으로써 인간의 시지각 능력을 개괄적으로 평가해 보았다.

2. 연구방법

2.1 도로표지의 선정

2000년 도로표지관련규정집에 제시된 동일형태의 도로표지 예시들을 MHP(Model Human Processor) 모델에 의한 이론적 계산을 통해 전체 내용을 인지하는 시간을 계산하고, 실험에 사용할 도로 표지를 선정하였다. 도로 표지는 한글과 영어 지명, 거리와 도로 번호, 방향을 나타내는 화살표 기호로 구성된다.

표지판의 형태 즉 도로표지의 정보량에 따라 피실험자의 인지시간이 달라질 것이다. 도로표지에서 정보량은 운전자가 인지에 필요한 눈 움직임의 횟수와 글자, 숫자, 기호, 방향선택의 수가 얼마나 많은가를 말하며, 인지시간은 도로표지의 정보량에 영향을 받게된다.

MHP model을 통한 도로표지의 인지시간 계산 규칙은 다음과 같다.

첫째, 눈의 움직임(saccade movement)은 청크(chunk) 단위로 일어난다. 일반적으로 한번의 눈 움직임에 14글자 정도를 읽어들이지만, 표지판에 주의집중(focused attention) 하기 때문에 한번의 눈 움직

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

임에 한 개의 청크(chunk)가 들어온다. (Card, Moran & Newell, 1983).

둘째, 눈의 움직임은 top-down 방식으로 좌측위에서부터 오른쪽 아래로 진행된다고 가정한다.

셋째, 현재 MHP model에서 한글 글자에 대한 인지시간 연구 결과가 없다. 본 연구에서는 한글의 인지시간 값이 영어의 인지시간 값의 최소, 최대값 영역에 포함될 것이라 가정하고 한글의 인지시간 값에 영어의 인지 시간 값을 사용하였다.

넷째, 글자(단어)의 경우 단어가 한 개의 청크(chunk)가 되며, 띄워지지 않은 글자가 14자가 넘어가면 2개의 청크(chunk)로 간주한다(Card, Moran & Newell, 1983).

다섯째, 숫자의 경우 예를 들어 '300'의 경우 한개의 청크(chunk)가 되며, 지각(perception) 시간은 chunk 수 × 100 *msec*가 되고, 인지(cognition)시간은 숫자의 수 × 33 *msec*가 된다(Card, Moran & Newell, 1983).

여섯째, 숫자와 기호가 붙은 경우, 예를 들어 '300 *m*'의 경우 숫자 300과 meter의 기호로 구성되므로 숫자와 기호, 두 개의 청크(chunk)로 간주한다.

일곱째, 방향 선택의 경우 방향을 선택하는 확률이 동일하다는 가정하고, Hick's law에따라 방향선택(method selection)에 따른 시간을 계산한다(Card, Moran & Newell, 1983).

여덟째, *m*, *km* 등 단위는 기호로 인식한다. 사람에 따라 문자로 인식하는 경우가 있지만 계산에 있어 기호로 간주하고, 실험 시 피실험자로 하여금 기호임을 주지시킨다.

아홉째, *m*, *km* 등의 기호 외에 방향을 표시하는 화살표 도형이 사용된다. 기호뿐만 아니라 도형은 인지시간의 계산에 있어 기하학적 도형 값을 적용한다. 화살표와 숫자가 동시에 적용된 경우 한 개의 기호 값을 적용한다. 단 숫자의 청크(chunk)값은 분리하여 계산한다.

위의 계산 규칙에 의거 도로표지의 전체 내용을 인지시간을 MHP model로 계산하여 403-9(인지시간 2초대), 424-3(인지시간 3초대), 403-1(인지시간 4초대), 423-3(인지시간 5초대)의 4개 표지판을 선정하였다.

선정된 도로표지의 인지시간 계산 결과와 그림은 아래 표 2.1과 그림 2.1 ~ 2.4에 제시되어 있다.

그림 2.1 표지 403-9

그림 2.2 표지 424-3

그림 2.3 표지 403-1

그림 2.4 표지 423-3

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

표 2.1 MHP 모델을 통한 도로표지 전체 내용의 인지시간 계산 결과

도로 표지	눈의 움직임	청크 수			방향선택		MHP 예측값
		단어	숫자	기호	방향 선택수	*msec*	*msec*
403-9	6	4	0	2	2	238	2506
424-3	9	6	4	2	2	238	3722
403-1	11	8	8	2	3	300	4670
423-3	14	9	7	4	3	300	5774

2.2 Vision System Simulator 개발

동적인 도로 상황 하에서 도로 표지의 내용을 인지하는데 걸리는 시간을 측정하는 웹(web) 기반의 Vision System Simulator를 개발하였다. Vision System Simulator는 Java Script를 이용한 html 코드로 작성되었으며, 속도에 따라 화면의 이동속도가 달라지도록 설계되었다. 뿐만 아니라 visual angle을 통해 도로표지 글자/숫자의 높이와 폭을 실제 눈에 보이는 것과 동일하도록 작성하였다. Vision System Simulator는 피실험자가 최초 한 글자를 지각했을 때의 거리, 시각(visual angle), 지각 시간을 보여준다. 또 피실험자가 인지과정을 모두 마쳤을 때, 인지에 필요한 시간과 거리를 나타내도록 설계되었다. Vision System Simulator의 인터페이스는 그림 2.5와 같다.

2.3 도로표지의 인지시간 측정 실험

본 연구에서는 vision system simulator를 통해 동적인 환경에서의 도로 표지의 인지시간을 실험 측정하였다. 운전면허를 소지하고, 색맹이나 색약 판정을 받지 않았으며, 보정시력이 0.7 ~ 1.0인 정상적인 시력 보유자 8명을 피실험자로 선정하였다. 학습효과가 발생하지 않도록 100 ***km/h*** 속도 수준에서 20여분간 훈련을 실시하였다. 또 실험 시작 전 10분간의 훈련을 다시 실시하고, 약 3분 정도의 휴식 후에 실험을 실시하였다.

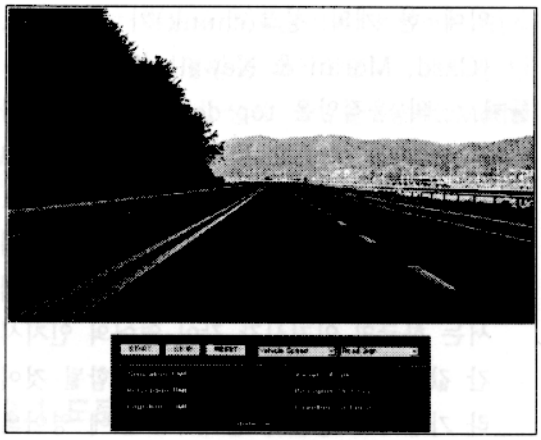

그림 2.5 Vision System Simulator

피실험자가 표지판의 글자 중 한 글자라도 지각했을 때 화면의 아무 곳이나 클릭(click)하고, 가야할 방향이 어디인지를 숙지한 후 화면을 다시 클릭하게 된다. 실험의 정확도를 기하기 위하여 실험이 끝나면 피실험자에게 도로 표지 내용에 대한 질문을 하였다. 실험 장비는 17인치(LCD) 모니터에 화면해상도 1024×768, refresh rate=75Hz에서 수행하였다.

실험은 차량의 속도와 표지판의 종류를 요인으로 하는 4×4 Within Subjects Design

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

하였으며, 종속변수는 인지시간으로 하였다. 인자의 수준은 속도 4수준 60, 80, 100, 120(*km/h*)과 표지 종류 4수준으로 설정하였으며, 종속변수인 인지시간은 피실험자가 simulator를 통해 표지판의 한 글자를 지각한 시간부터 목적지의 방향을 선택하기까지의 시간으로 설정하였다. 인자조합의 실험 순서에 따른 효과를 없애기 위하여 각 피실험자마다 완전히 랜덤한 인자조합에서 실험을 실시하였다. 또한 지명은 피실험자의 학습효과 및 기존 도로의 인식에 따른 선입견을 방지하기 위하여 모두 임의로 선정하였으며 속도별로 다른 지명을 가진 도로표지를 제시하였다. 위 실험계획에 따른 결과는 Within Subjects Design 계산식을 따른 분산분석을 실시하였다.

2.4 MHP 모델 예측값[1]의 수정

실험에서 피실험자는 도로 표지에서 제시된 목적지의 지명을 탐색할 때까지의 내용만 인지하게 되므로 전체 내용을 인지하는 것이 아니다. 영어의 인지시간 또한 적극적인 인지과정[2]은 없는 것으로 가정하여 영어의 인지시간은 제외한다. 따라서 Neisser의 구조적 탐색 모형 이론(Christopher D. Wickens, 1994)을 적용하여 MHP 모델 예측값을 수정하였다. 본 연구에서 수행한 동적인 실험환경에 적합한 수정된 MHP 모델 예측값을 계산하기 위하여 2.1 도로표지의 분류에서 제시된 인지시간 계산규칙 외에 다음과 같은 규칙을 적용하였다.

첫째, 실험의 경우 도로표지의 영어의 인지시간은 제외하여 계산한다.

둘째, Neisser의 구조적 탐색 모형의 이론을 적용하여 도로표지에서 목적지를 찾을 때까지의 글자와 숫자 청크 수를 계산에 사용한다(Christopher D. Wickens, 1994).

3. 결 과

3.1 글자 판독거리

본 연구의 vision system simulator를 통해 실험한 결과 동적인 상황에서의 글자 판독거리는 아래의 표 3.1과 같다. 정적인 상황에서의 도로표지 글자 높이에 따른 판독거리를 측정한 도로표지의 시인성에 관한 연구(이순철, 이용재, 여운용, 1990)[3]의 결과가 표 3.2에 제시되어있다.

그림 3.1에서 보는 바와 같이 본 연구에서 수행한 실험 결과와 기존연구의 판독거리를 비교해보면 본 연구 결과의 판독 거리가 더 짧다. 또한 글자 높이가 커질수록 판독 가능거리가 더 큰 폭으로 낮아지고 있다. 기존 연구에서는 속도의 개념이 없으므로 본 연구의 결과에서 속도가 글자 판독거리에 미치는 영향을 통계적으로 검정하기 위하여 유의수준 1%에서 분산분석을 실시하였다. 표 3.3에서 속도와 글자의 판독거리에는 유의한 차가 없

1) MHP 모델 예측값의 수정
도로표지에서 목적지의 탐색과정에 따라 인지하는 청크(chunk)량이 달라지므로 MHP 모델을 통한 예측값이 수정되었음을 의미함.

2) 예를 들면 focused attention

3) 이하 '기존연구'라 칭함

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

음을 알 수 있다.

본 연구의 실험 결과를 글자 크기(높이)에 따라 평균한 값과 기존의 연구에서의 글자 판독거리 결과를 비교하였다. 표 3.1과 표 3.2에서 글자 높이 20, 40, 50(㎝)에 대해 유의수준 5%에서 모평균차에 대한 검정을 실시하였으며 결과는 표 3.4와 같다. 검정 결과 글자 높이 20(㎝)에서는 기존연구와 본 연구의 결과가 차이가 없었으나, 40(㎝)와 50(㎝)에서는 그 차이가 유의한 것으로 나타났다.

표 3.1 본 연구에서의 글자 판독거리 결과

	속 도					
표지(글자높이)	60	80	100	120	평균	표준편차
RS 1 (20)	54.68	59.58	55.90	60.41	57.64	12.26
RS 3 (35)	92.38	94.99	103.80	98.32	97.37	24.70
RS 2 (40)	107.25	117.61	115.58	125.38	116.46	21.36
RS 4 (50)	132.55	133.56	131.54	143.91	135.39	26.24

표 3.2 판독거리에 대한 기존연구 결과

글자크기	사례수	평 균	표준편차
10	93	33.19	9.83
20	94	58.74	12.28
30	118	103.93	22.05
40	100	128.85	26.18
50	82	159.33	23.13
60	83	180.57	24.42

표 3.3 지각거리에 대한 분산분석 결과

Source	DF	SS	MS	F	P
Velocity	3	1697	566	1.13	0.341
Font Height	3	105998	35333	70.44*	0.000
Interaction	9	1192	132	0.26	0.983
Error	112	56175	502		
Total	127	165063			

* : significant at 0.01

표 3.4 글자 판독거리 차의 검정 결과

글자높이	연구	사례수	평균	표준편차	검정통계량
20	본연구	128	57.64	12.26	Z= 0.659
	기존연구	94	58.74	12.28	
40	본연구	128	116.46	21.36	Z= -3.836*
	기존연구	100	128.85	26.19	
50	본연구	128	135.49	26.24	Z= -6.91*
	기존연구	82	159.33	23.13	

* ; significant at 0.05
글자높이 20에서 양쪽 검정을 수행하고, 글자높이 40과 50에서 한쪽 검정을 수행함

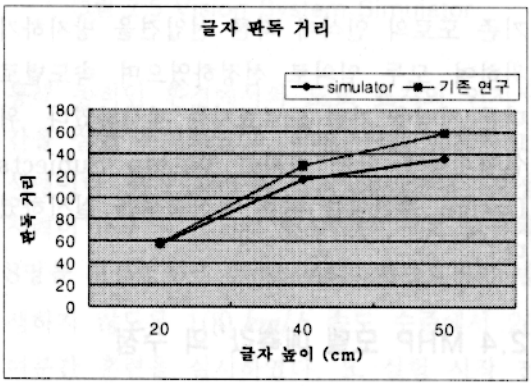

그림 3.1 글자 판독거리의 비교

3.2 인지시간 분산분석

그림 3.2 표지 종류에 따른 인지시간을 보면 표지의 종류 즉 정보량이 커질수록 인지시간이 늘어나는 것을 볼 수 있다. 또 그림 3.3 속도에 따른 인지시간을 보면 속도가 빠르면 빠를수록 인지시간은 줄어듦을 알 수 있다.

실험의 주인자, 즉 속도와 표지 종류가 인지시간에 미치는 영향을 통계적으로 파악하기 위하여 이들 인자를 독립변수로 하고 인지시간을 종속변수로 하여 within-subject design 분산분석(Analysis of Variance)

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

(Geoffrey, Keppel, 1982)을 실시하였다. 유의수준은 1%로 하였고, 분산분석 결과는 표 3.5에 있다.

속도 및 표지종류 인자를 보면 F ratio 값이 13.5와 7.32로 유의수준 1%에서의 기각역을 훨씬 초과한다. 반면 속도×표지종류의 F ratio 값은 0.03으로 기각역보다 작다. 따라서 도로표지의 종류(정보량)와 속도는 인지시간에 영향을 미치고 있지만 속도와 표지종류 두 인자의 교호작용 영향은 없다고 할 수 있다.

표 3.5 속도와 표지종류에 대한 분산분석 결과

Source	BR	DF	SS	MS	F ratio	기각역
V	482.41	3	17.83	5.94	13.5*	4.87
R	483.55	3	24.39	8.13	7.32*	4.87
V×R	510.52	9	5.5	0.61	0.04	2.72
S	506.82	7	39.82	5.69		
V×S	535.69	21	9.21	0.44		
R×S	54.85	21	23.36	1.11		
V×R×S	614.96	63	919.57	14.59		
Total	460.37	127	156.84			

* significant at 0.01

BR : Basic Ratio, SS : Sum of Square,

MS : Mean Square, V : velocity,

R : road sign, S : subjects

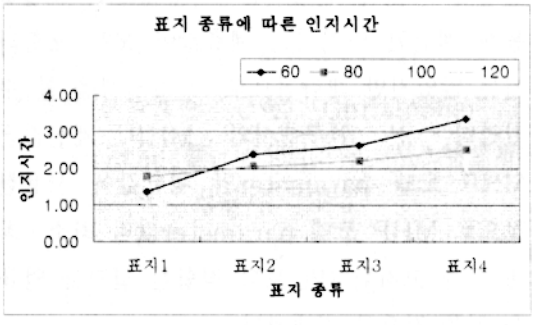

그림 3.2 표지 종류에 따른 인지시간

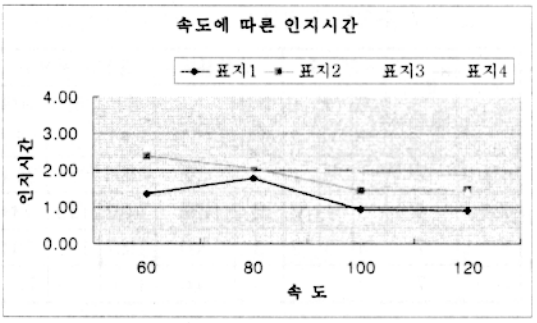

그림 3.3 속도에 따른 인지시간

3.3 도로표지 인지시간 비교

수정된 인지시간 예측 값의 결과는 표 3.7과 같다. 본 연구에서는 실험결과 값의 신뢰구간 내에 MHP 계산값이 포함되는지를 통해 개괄적으로 인지시간을 비교해 보았다.

그림 3.4는 실험 결과의 99% 신뢰구간(표 3.6)과 도로 표지 전체내용의 인지시간 계산값(표 2.1) 그리고 수정된 MHP 계산값(표 3.7)을 그래프로 그린 것이다. 그림 3.4에서 수정된 인지시간의 값과 실험결과는 어느 정도 비슷함을 보이고 있다. 그림 3.5는 실험결과의 99% 신뢰구간과 수정된 인지시간 계산값을 그래프로 그린 것으로 표지1과 표지4의 MHP 계산값은 실험결과 값의 신뢰구간 내에 포함되었다. 반면 표지 2와 표지3의 MHP 계산값은 실험결과 값의 신뢰구간을 벗어나고 있다.

표 3.6 표지판에 따른 인지시간

	평균	신뢰구간 하한	신뢰구간 상한
표지 1	1.25	0.776	1.730
표지 2	1.86	1.431	2.284
표지 3	2.04	1.681	2.403
표지 4	2.43	1.850	3.015

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

표 3.7 수정된 도로표지 인지시간 계산 결과

도로표지	눈의 움직임	청크수			방향선택		MHP 계산값		
		단어	숫자	기호	방향선택	msec	평균(초)	최소(초)	최대(초)
403-9	2	1	0	1	2	238	0.995	0.56	2.14
424-3	6	3	1	2	2	238	2.492	1.19	5.33
403-1	7	4	3	2	3	300	2.997	1.47	7.03
423-3	7	3	3	3	3	300	3.000	1.48	7.02

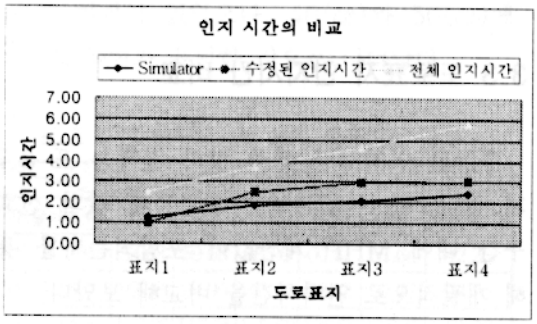

그림 3.4 실험결과와 MHP 계산값의 비교

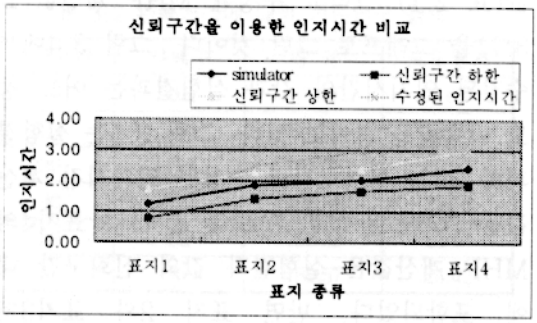

그림 3.5 신뢰구간에서의 인지시간 비교

4. 결 론

본 연구는 동적인 운전상황에서의 표지 인식에 관한 연구를 위해 인간의 망막에 맺히는 도로 상황을 재현한 vision system simulator를 개발하였다. 차량의 속도와 도로표지의 종류를 도로표지의 인지시간에 영향을 미치는 중요 인자로 선정하여 vision system simulator를 통한 도로표지 인지시간을 실험 측정하였다.

Vision System Simulator를 통한 실험에서 글자 판독가능 거리가 실제 field test의 판독가능 거리에 비해 줄어들며, 이는 시뮬레이터에서의 이미지 손상에 기인한다고 할 수 있다.

도로표지의 인지시간에 대한 속도와 표지종류 두 인자의 유의성을 검토하기 위한 분산분석 결과 두 인자 모두 인지시간에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 두 인자의 교호작용의 효과는 유의하지 않은 것으로 나타났다. 즉 도로표지의 종류에 따라 인지시간은 변하며, 속도가 증가할수록 인지시간은 줄어든다고 할 수 있다. 결과에서 속도가 빠를수록 인지시간이 줄어드는 것은 거리가 가까워짐으로서 글자의 크기가 커짐에 따라 발생하는 것이라 할 수 있다.

시뮬레이터를 이용하여 측정된 도로표지의 실험결과 값의 신뢰구간 내에 MHP 모델을 통해 계산된 인지시간 예측값이 모두 포함되지는 않았지만 대략적으로 그 유사함을 볼 수 있었다. 본 연구에서의 MHP 계산값은 MHP 모델 parameter의 평균값을 사용한 것으로 MHP 모델 parameter값의 최소·최대 값을 고려한다면 보다 적합한 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

MHP 모델을 통한 인지시간 예측값과

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

vision system simulator를 통한 도로표지의 인지시간 측정값을 비교해 봄으로써 대략적으로 computer model-based 평가의 가능성을 확인하였다.

향후 연구과제로 programming 및 하드웨어 보완을 통한 이미지 손상 발생을 최소화하여 인간의 Vision System을 보다 정확히 묘사하고, 야간·기상 악천후 등 실제 운전상황과 유사한 Simulator 구현함으로써 운전자의 Resource Allocation에 대한 연구가 필요하다. 또한 동적 환경을 적용할 수 있는 MHP 모델의 확장을 통해 개략적인 인지시간 예측 모델에 관한 연구도 필요하다.

참고 문헌

김정룡, 곽종선, 이돈규, 수도권 도로 교통표지판의 인지공학적 평가 분석, 대한인간공학회 Vol 18, No. 1, 1999.4.

신명희 편저, 지각의 심리, 학지사, 1995.

이순철, 이용재, 여운웅, 도로표지의 시인성에 관한 연구, 대한산업공학회, '90 대한산업공학회문집, 1990.

이순철, 교통심리학, 학지사, 2000.

진영선, 곽호완 공역, Christopher D. Wickens 著, 공학심리학 -시스템설계와 인간수행-, 성원사, 1994.

Card, Moran & Newell, The Psychology of HCI, Hillsdale, NJ, LEA, Inc., 1983.

Geoffrey, Keppel, Design and Analysis a Researcher's Handbook 2nd edition, Prentice-Hall Inc., 1982.

Megaw, E. D., & Richardson, J., Target uncertainty and visual scanning strategies. Human Factors, 21(3), 303-316., 1979.

Parasuraman, R., Handbook of perception and human performance, New York: Wiley, 1986.

Sanders McCormick, 조영일 역, Human Factors in Engineering and Design (인간공학), 대영사, 86-87, 1998.

Young, L. R., & Stark, L., Variable feedback experiments testing a sampled data model for eye tracking movements. IEEE Tranactions on Human Factors in Electronics, HFE-4, 38-51, 1963.

저자 소개

◈ 감명호

금오공과대학교 산업시스템공학과에서 석사를 취득하였으며, 현재 금오공과대학교 산업공학과 인지시스템연구실 연구원으로 있다. 주요 관심분야는 시뮬레이션이다.

◈ 차우창

한양대학교 산업공학과를 졸업하고, 미국 Ohio University와 Oregon State

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.

University에서 산업공학 석사 및 박사 학위를 취득하였다. 현재 금오공과대학교 산업시스템공학과 교수로 재직중이며, 주요 관심분야는 인지공학 및 항공/원자력안전, HCI, 시스템 모델링 등이다.

논문접수일 (Date Received): 2002/3/2
논문게재승인일(Date Accepted): 2002/7/15

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.