

인간-기계 통신 인터페이스를 위한 안구운동 패턴 부호화 방식

이 용 천, * 박 상 희

○ 한국전기통신공사 연수원 * 연세대학교 전기공학과

Eye-Movement Pattern Encoding Method for Man-Machine Communication Interface

Rhee Yong Chun, Park Sang Hui

○ Korea Telecommunication Authority Training Center * Dept. of Electrical Eng., Yonsei Univ.

ABSTRACT

In this paper, a new method of Eye Movement Pattern Encoding (EMPE) which is based on electrooculography (EOG) was suggested for the purpose of effective communication between man and machine, instead of Point-Of-Regard-Selection (PORS) method. Also, ocular interface is designed and the typing aid, eye-pattern writer, was constructed for the test of theoretical validity and its practical aspect. Effect of eye fatigue on the performance of ocular interface was quantified through fatigue test.

사용자이고 목적지(destination)는 컴퓨터이다. 동안 인터페이스에서는 오퍼레이터에서 안구운동을 통하여 컴퓨터로 정보를 전송하는 것이 문제가 된다. 본 연구에서는 동안 인터페이스를 일종의 단방향 통신 채널로 모델링하였는데, 인터페이스의 목적이 단지 정보의 순방향 전달에 있으므로 그 타당성이 있으며, 동안 인터페이스의 성능을 대표하는 지표인 동안계의 부호화율(encoding rate)은 피로에 의해 영향을 받지 않기 때문이다.

본 논문에서는 인터페이스를 통신장치로 간주하고, 인터페이스를 연구하는데 가장 적합한 이론적인 도구로 정보이론을 도입하였다. 그림1은 결론적으로 얻은 동안 인터페이스의 정보이론 모델이다.

I. 서 론

정보화시대에 복지통신의 일환으로 장애자에게 필수적인 생활지원 기능을 부여하기 위한 통신보조장치(communication aids)에 대한 연구가 진행되고 있으며, 이 중에서 다른 형태의 신체운동보다 안구운동(eye-movement)은 제어가 매우 빠르고 비교적 피로하여 사용자가 쉽게 적응할 수 있으므로 주시점 선택(point-of-regard-selection method; PORS)을 적용한 동안 제어장치(eye-controlled device)에 대한 연구가 NASA [1]의 동안 제어 텔레타이프(teletype)의 개념에 대한 연구[2]에서 비롯되어 활발히 계속되어 왔다. [3-8]

그러나, 주시점 선택방식은 몇가지 문제점을 가지고 있다. 첫째, 정보의 생성 및 전달이 주요 내용임에도 불구하고 정보이론적인 접근 방법이 부족하다. 둘째, 디스플레이에 시야가 제한된다. 셋째, 일정한 시간(dwell time) 이상 주시하여야 하므로 안구가 쉽게 피로해진다. 넷째, 주시점을 정확히 측정하기 위해 장치가 복잡하고 불편하므로 비경제적이다. 다섯째, 획득가능한 최대 통신비율(communication rate)이 제한된다.

따라서, 본 논문에서는 인간이 시각 또는 청각 피관을 통해 인식한 문자를 컴퓨터에 전송하기 위해 제어가 가능한 saccade 안구운동 패턴을 입력하여, 이진트리(binary tree)의 제어신호를 출력하는 동안 인터페이스(ocular interface)의 설계에 적용할 수 있는 안구운동 패턴 부호화(Eye-Movement Pattern Encoding:EMPE) 방식을 주시점선택방식의 대안으로 제시하여 동안 인터페이스를 설계하고 이진트리 방식에 기초한 타자보조장치(typing aids)에 적용하여 이론적인 타당성과 실용성을 검증하고자 한다.

II. 동안 인터페이스 모델링 과 근사화

2-1. 동안 인터페이스의 모델

인간-컴퓨터 통신 인터페이스의 경우, 정보 이

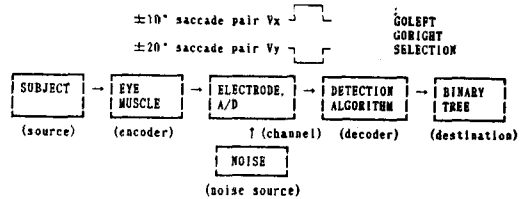


그림 1 안구운동으로 제어되는 정보이론 모델
Fig. 1 Information-theoretical model controlled by eye-movement

사용자는 정보원과 부호기 역할을 동시에 수행하지만, 각각 인간 두뇌와 동안계로 대응시킬 수 있다. 또, 복호기와 목적지는 같은 기계의 구성요소이지만, 복호 불력은 하드웨어 혹은 소프트웨어의 구성요소로서 입력 메시지 혹은 잡음이 혼입된 형태의 메시지를 재생시키기 위해 전송된 신호를 해석하는 부분이다. 목적지는 단순히 메시지를 받는 역할만을 담당한다. 또, 수신된 메시지를 다양하게 해석하여 음성보철(voice prothesis)을 위한 음성 합성기의 구동, 필체어 조정, 혹은 문자편집 프로그램을 사용한 문자의 저장 등에 응용이 가능하다.

채널은 부호기와 복호기 사이를 연결하는 링크로서 전기안위 묘사법을 사용하는 경우에 채널은 피부전극과 분리, 증폭 및 필터링을 위한 아날로그 신호 처리장치와 A/D 변환기 및 상호 연결된 모든 게이트로 구성된다. 또, 입력신호는 각막-망막간 쌍극자의 회전으로 발생하는 EOG 전압이고 출력신호는 필터링을 거쳐 증폭 및 양자화된 입력신호에 주로 전극의 드리프트와 근육잡음이 혼입된 신호이다.

그림1의 동안 인터페이스에서 전체 시스템의

성능은 부호기의 성능을 반영한다.

동안 인터페이스 고유의 목적이 사용자에서 수신자에게 정보를 운반하는 것이지만, 실제로 통신 인터페이스는 쌍방향의 정보채널이므로 궤환을 통해 신호는 출력에서 입력으로 즉, 반대방향으로 전송될 수도 있다. 대개의 통신 보조장치에서는 시각궤환을 사용하여 오율을 감소시킨다. 예러가 발생하면 메시지를 반복 송신하여 정확하게 송신하게 된다.

그림 2는 동안 인터페이스의 정보이론 모델을 적용한 통신보조장치의 출력선도를 표현한 것이다. 전송된 메시지에 대한 정보는 시각궤환을 통하여 사용자에게 궤환되어 올바른 입력 시퀀스를 발생시킴으로써 예러를 수정하는 역할을 담당한다.

만약 부호화 방식이 동일하다고 가정하면 궤환의 사용여부에 관계없이 기존 인터페이스의 통신비율은 변하지 않는다.

을 산출하지 않았지만 전송 주파수 F [cpm] 와 오율 Pec [%] 를 알 수 있으므로, 식 (2-3)으로 재계산하여야 성능비교가 가능하다.

(2) Rbit [bps] 의 근사화

코딩전략에 관련된 통신비율 Rbit [bps] 를 구하기 위해서는 입력 x_i 와 집합 {좌, 우, 선택} 명령 중에서 값을 취하는 출력 y_j 을 가진 채널을 가정한다. 이진탐색 트리의 경우 세가지의 입력 명령은 발생확률이 거의 같으므로, $H(X)$ 는 $\log(\text{명령의 수}) = \log(r)$ (여기서 $r=3$)로 근사화시킬 수 있다.

f 는 전송주파수 [bits/sec]로서 실험시간 T_t 로 사용한 명령수 M_c 를 나눈 값으로 표현할 수 있다.

$$f = \frac{M_c}{T_t} \tag{2-4}$$

$$Rbit = f * [\log(3) - h(Peb) - Peb] \text{ [bps]} \tag{2-5}$$

명령예러 Peb 는 전체의 명령에 대한 명령 예러 수로서 다음과 같다.

$$Peb = \frac{M_e}{M_c} \tag{2-6}$$

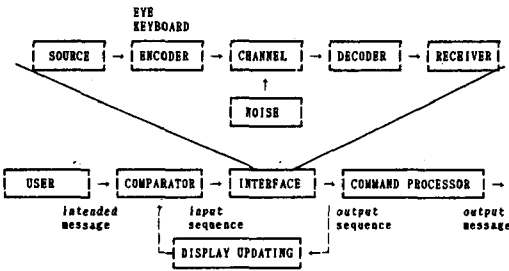


그림 2 궤환을 가진 통신보조장치의 출력선도
Fig. 2 Block diagram of communication aids with feedback

2-2 통신비율의 근사화

소스에서 심볼 s_i 를 보내면 동안계에 의해서 일련의 코드문자 x_i 로 부호화된다. 코드 문자는 채널을 통과하여 y_i 가 수신되며 복호화를 거쳐 목적 심볼 d_j 가 된다. 타자 보조장치에서는 소스와 목적 심볼은 영어 알파벳의 문자이며, 코드문자는 {좌, 우, 선택}의 세가지 명령이다.

(1) Rchar [cpm] 의 근사화

문자에 대한 메모리는 $27 \times 27 = 729$ 개의 요소로 구성되나, 본 연구에서는 실시간으로 처리해야 하므로 근사화가 필요하다.

두 변수 F, Peb 는 쉽게 근사화할 수 있는데, F [char/min]는 전송주파수로서, 1 회 실험 시간 T_t 에 대한 문자의 문자수 M 으로 표현한다. 또 Pec 는 문자 오율로서 실험도중 전체 전송된 문자수에 대한 예러의 수 M_e 의 비율이 된다.

$$F = \frac{M}{T_t} \tag{2-1}$$

$$Pec = \frac{M_e}{M} \tag{2-2}$$

$$Rchar = F * \left[1 - \frac{h(Pec) + Pec * \log 26}{4.08} \right] \text{ [cpm]} \tag{2-3}$$

기존 통신보조장치에서는 대개 객관적인 성능

III. 측정시스템 및 실험

3-1 하드웨어의 구성

그림 3은 이진트리방식에 기초한 동안타자보조 장치를 위해 구성한 측정시스템을 나타낸 것이다.

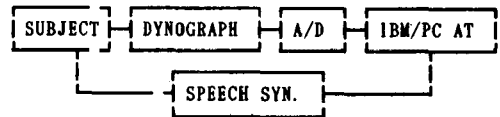


그림 3 실험장치의 출력선도

Fig. 3 Block diagram of experimental system

3-2. 실시간 사카드 패턴 검지 알고리즘

안구운동 패턴 부호화 방식에서는 사카드 패턴을 트리의 제어명령 {좌, 우, 선택}으로 부호화함으로써, 실시간 검지 알고리즘이 필요하다.

주어진 진폭 범위의 사카드를 실시간으로 검지하는 알고리즘은 최대속도 (peak velocity)와 지속시간 (duration time)을 측정하여 고정된 문턱값과 비교하는 것을 기초로 한다.

V_{maxi} 와 D_{uri} 를 각각 식별하려는 사카드 i 의 최대속도와 지속시간의 측정값이고, V_{10} 과 D_{10} 을 각각 표준 교정시에 측정된 10° 사카드 에 대한 평균 최대속도와 지속시간이라고 하자.

만약, 진폭이 10° 근방인 '소(小)' 사카드 i 는 다음 조건을 만족하여야 한다.

$$1 - a_1 < \frac{V_{maxi}}{V_{10}} < 1 + a_h \tag{3-1}$$

와

$$1 - b_1 < \frac{D_{uri}}{D_{10}} < 1 + b_h \tag{3-2}$$

이다.

반면에, 10° 사카드보다 큰 '대(大)' 사카드 i 면 다음 조건을 만족해야 한다.

$$1 + c_1 < \frac{V_{maxi}}{V_{10}} \tag{3-3}$$

와

$$1 + dl < \frac{Duri}{D10} \quad (3-4)$$

이다. 이때, $cl < ah$ 또는 $dl < bh$ 이다. 이때, 측정된 매개변수 al, ah, bl, bh, cl, dl 를 사용하여 $+10^\circ, -10^\circ$ 사카드의 경우 각각 99 [%], 100 [%] 를 정확히 검지할 수 있다. 서로 다른 피검자 간에도 사카드의 특성은 거의 동일하므로, 실험 과정에서는 참여한 모든 피검자에 대해서 동일한 매개변수들을 계속해서 사용하였다. 본 알고리즘은 대용량의 기억장치가 소요되지 않기 때문에 매개변수의 값을 측정하기가 쉽고, 단지 현재의 샘플만 필요하므로 지연이 발생하지 않는 장점이 있다.

그림 4는 실험에 사용한 프로그램과 프로시쥬어를 나타낸 것으로 모든 프로그램은 C (MSC V5.0) 언어로 작성하였다. 전체 실험과정에서 EOGCON 과 TREECON 프로그램이 사용된다.

NAME	FUNCTION
EOGCON	PARAMETER DETERMINATION FOR SACCADE DETECTION
TREECON	MAIN PROGRAM FOR BINARY SEARCH TREE
SEARCH_TREE	SEARCH CHARACTER IN BINARY TREE
SUBJECT_CMD	DETERMINATION OF THE SUBJECT'S TREE COMMAND
SAC_ID	DETECTION OF SINGLE SACCADE
VELOCITY	CALCULATION OF VELOCITY FOR SACCADE DETECTION

그림 4 프로그램의 개요
Fig. 4 Outline of program

3-3. 통신비율의 측정방법

실험은 수동(manual), 안구(eye) 입력 및 피로 실험 등 세 단계로 구분하여 수행하였다. 모든 피검자를 대상으로 4 주동안 하루에 1 회씩 실험하였는데, 처음 2 주는 키보드 입력에 익숙하도록 하였다. 1 회 실험은 30분 정도 소요되는데, 수 번의 실험으로 구성된다.

매 실행시 전송 주파수 F 와 f, 오울 Pec 와 Peb 및 통신비율 Rchar [cpm] 와 Rbit [bps] 를 계산하였으며 모든 데이터는 즉시 화면에 출력하였으며 플로팅을 위해 실행화일에 별도로 저장하였다.

안구 입력실험시, 먼저 알몸이 맨 앞지면으로 전극의 부착부위를 부드럽게 문지르고 가볍게 연삭(drilling)한 후 피검자에게 전극을 위치시킨다. 이어서 피검자의 좌우 10° 의 사카드 10 개를 기록 분석하여 평균 최대속도와 지속시간을 구함으로써 고정작업을 수행하였는데, 사카드 검지 알고리즘에 필요한 변수의 기초가 된다.

1 회 실험시 25 개의 문자로 구성된 문장을 사용하였는데, 이때, 대상 문장은 영자(zeroth-order) 영자와 똑같은 통계치를 따르도록 구성하였다. 즉, 문장내의 각 문자의 발생할 확률을 표준영어 내에서 해당문자의 발생확률과 같도록 하였다. 결국, 정보 엔트로피 H(S) = 4.08 [bits]로 유지함으로써 영어에 대한 1 차 근사화 엔트로피와 같게하여 근사화 식(2-3)이 항상 성립하도록 하였다. 그러므로, 문장 내에서 각 문자의 위치는 결국 완전히 랜덤하다.

그림 5는 사용한 문장의 한 예를 나타낸 것으로 심볼 "■"는 문자 'Space' 를 의미한다.

<U■MAEIRLONITED■NCETAO■S■G>

그림 5 실험대상 문장의 예
Fig. 5 Sample text

3-4. 안구피로의 정량화

피검자로 하여금 타자시간을 1 시간 정도로 확장하여 최대속도를 유지하면서 타자하도록 하고, 25 문자마다 일정한 간격마다 통신비율을 기록하였는

데, 실험절차 및 방법은 안구입력시의 통신비율을 측정할 경우와 동일하다.

이때, 25 문자로 구성된 새그먼트들은 모두 정확히 똑같은 통계적 성질을 가지므로, 각각의 새그먼트를 대상으로 공히 식(2-3)과 식(2-5)를 적용할 수 있다.

VI. 결과 및 고찰

4-1. 수동입력에 의한 결과

처음에는 비율이 급격하게 증가하다가 경험을 쌓을수록 곡선은 포화상태에 도달함을 알 수 있다. 동시에 에러는 느리게 감소하였다.

4-2. 안구 입력에 의한 결과

안구입력을 사용하였을 경우의 통신비율은 수동 입력시 보다 매우 낮아졌는데, 각 실험을 25 문자로 제한하여 지속시간을 짧게 유지하였다. 짧게 수행하면 피검자는 동안계에 대한 정신적인 피로(예를들면, 동기의 상실 등) 혹은 물리적인 피로를 덜 느끼기 때문이다.

그림 7 은 대표적인 피검자 #1 에 대한 모든 결과물 도시한 것이다. 결과 곡선에서 최종 포화상태의 비율이 피검자 간의 정상상태에서의 능력을 나타내므로, 피검자의 비율은 포화상태에 대한 평균값으로 결정하였다. 표 1 은 피검자별로 통신비율의 결과물 요약하여 나열한 것으로, 20.76 [cpm] 혹은 1.86 [bps] 를 나타냈다.

표 1. 안구 입력시의 통신비율
Table 1. Communication rate of eye-input

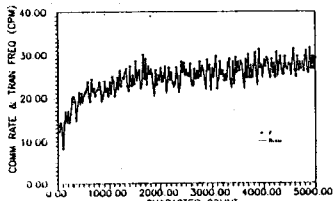
피검자	Rchar		Rbit	
	평균	S. D.	평균	S. D.
#1	22.368	3.812	2.164	0.324
#2	20.570	3.542	1.870	0.293
#3	23.306	2.830	2.071	0.243
#4	14.800	4.194	1.328	0.367
평균	20.760		1.860	
S. D.	3.711		0.320	

표 2는 표 1 의 결과에서 student-t 분포(자유도=3) 를 사용하여 계산한 전체 모집단에 대한 비율의 신뢰구간을 나타낸 것으로, 각 피검자 사이에 커다란 변동이 없음을 알 수 있으며, 평균 통신비율은 신뢰도 90 [%] 의 범위에서 17.68 [cpm] 혹은 1.59 [bps] 이하로, 선행연구에서 제시한 통신비율보다 낮은 값이다.

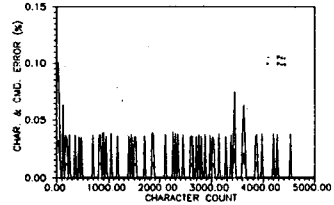
이론적으로 코드길이를 비교한 결과 안구운동 때 변부호화 방식은 주시점 선택 방식보다 우수한 것(3.184(4.249[cpm])으로 나타났음에도 불구하고 실제 통신비율이 낮은 이유는 통신비율의 측정방법이 서로 다르기 때문이다.

선행연구자의 대부분은 실험과정 등을 구체적으로 열거하지 않았는데, 그 중 Kate 등[4] 은 두 명의 피검자에게서 최대비율 102 [cpm] 과 106 [cpm] 을 각각 얻었는데 이때, 에러는 각각 5 개 와 4 개 이었다. 본 연구와 정량적인 비교를 위해 통신비율을 재계산한 결과, 각각 91.87 [cpm], 97.30 [cpm] 즉, 평균 94.50 [cpm] 을 얻었다. 이때, 소스 문장의 엔트로피 H(S)는 본 연구 (=4.08 [bits])와 같다고 가정하였으나, 동일한 문장에 대해 70 회 이상의 연습을 거친 후 얻어진 결과이므로, 결국, 실험치는 4.08 [bits] 보다 매우 낮은 것이다. 그러나, 이 비율도 평균값이 아니라 최대값이다. 결국 선행연구의 성능은 본 논문의 평균성능과 비교할 수 없다.

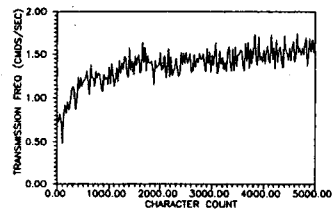
Anderson 등[3]의 최대비율을 60 [cpm] (97 [%]의 정확도) 은 실제로 55.08 [cpm] 의 통신비율에 해당



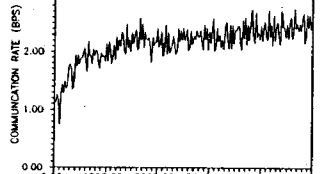
(a) 통신비율 Rchar, 전송주파수 F



(b) 문자에러 Pec 와 명령에러 Peb



(c) 전송비율 f [commands/sec]



(d) 동안인터페이스의 Rbit[bps]

그림 7 피검자 #1의 결과
Fig. 7 Result of subject #1

표 2. 동안 타자 보조장치의 신뢰구간
Table 2. confidence interval of ocular typing aids

신뢰도	신뢰구간			
	Rchar		Rbit	
	하한	상한	하한	상한
90 %	18.156	23.364	1.636	2.085
95 %	18.030	23.492	1.625	2.096
98 %	18.838	23.682	1.609	2.112
99 %	17.679	23.841	1.595	2.126

하는 값이지만 실험결과를 언급하지는 않았다. 그밖의 통신 보조장치는 정량적인 평가에 대한 언급이 전혀 없었던 결과에 비추어 볼때, 본 논문의 주요 의의 가운데 하나는 통신보조장치의 실험적인 평가를 합리적으로 제시한 기초연구라는 점이다. 본 연구의 성능은 이진탐색 트리를 고풍함으로 써 개선가능하다. 쿼드트리 사용하게 되면 코드길이는 2.33 [cpc]로 감소되어 동일한 주파수와 정확도 범위 내에서 명령이 생성된다고 하면, 비율은 상승한다.

결국, 트리내에 가지수를 더 증가시켜 향상된

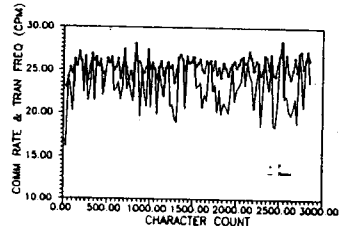
비율을 얻을 수 있다. 최대 27 개의 가치와 하나의 노드를 가진 트리에 대해서는 구별된 27 개의 명령이 필요한데 코드길이는 1[cpc]가 된다. 만약 사용자가 동일한 오율 및 속도로 명령을 생성한다면 비율은 다음과 같다.

$$(3.18/1) \times 20.76 = 66.02 \text{ [cpm]}$$

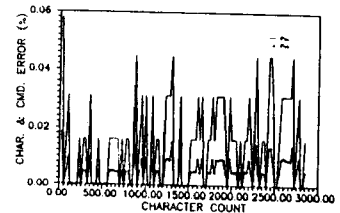
이는 안구운동 패턴부호화 방식에 의해서 얻을 수 있는 평균 타자비율의 최대 상한값이 된다. 선행 연구 결과보다 수치상으로는 낮으나 예측이 불가능하므로 실질적으로 더 높은 값에 해당한다. 결론적으로 안구운동 패턴부호화 방식에서 얻을 수 있는 평균통신비율은 67 [cpm] 이하이다. 그러나, 주시점 선택방식의 장치와 다 체계적인 방법으로 비교되기 전까지는 성능비교에 대한 명확한 결론을 내릴 수 없다.

4-3. 안구피로 실험결과

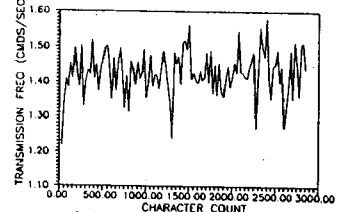
대표적인 피검자 #1를 대상으로 정상 사용시간보다 더 긴 60 여분동안 계속 통신비율을 측정하였으나, 시간대비 성능에 대한 의미있는 감소는 발견할 수 없었다. 그림 8은 이 결과를 나타낸 것이다. 비록 실험의 중반과 후반부에서 약간의 고풍함을 호소하였으나 뚜렷한 성능의 하락현상은 없었다. 실험시간이 길어질수록 피로보다는 집중력 감소로 성능이 하락한 것으로 여겨진다.



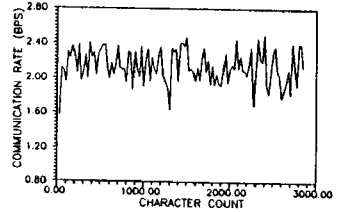
(a) 통신비율 Rchar[cpm], 전송주파수



(b) 문자에러(Pec) 와 명령에러(Peb)



(c) f [commands/sec]



(d) Rbit

그림 8 피검자 #1에 대한 피로 실험의 결과
Fig. 8 Result of fatigue test for subject #1

또한, 피로의 영향을 정량화하기 위해 약 1 시간 간격의 300문자 연속실험에서 피검자의 통신비율을 처음 300문자와 마지막 종료전 300문자에 대한 평균을 취하여 각각 기시 및 종료비율로 하고, 종료비율과 기시비율의 차를 기시비율로 표준화시켜 실험시간으로 나누어 피로의 영향에 대한 추정치를 계산하였는데, 이는 성능곡선의 평균 기울기들 표준화시킨 값에 해당한다. 표3은 모든 피로 실험의 결과를 요약한 것이다. 피검자 #2의 경우를 제외하고는, 모두 2[%] 미만의 변동율을 나타냈는데, 평균 2.659[%]이었다. 이는 1시간 이하의 정상적인 사용기간에 안구피로가 동안 인터페이스에 미치는 영향을 고찰한 것으로, 동안 인터페이스 연구에서 통신 보조장치의 실용성을 측정하는 지표가 될 수 있다.

표 3 피로 실험의 결과
Table 3 Result of fatigue test

피검자 #	Rbit bits/s		변동 (%)
	기시	종료	
#1	2.117	2.077	1.889
#2	2.051	1.943	5.266
#3	1.984	2.014	1.512
#4	1.572	1.603	1.972

V. 결 론

본 논문에서 얻어진 결과는 다음과 같다.

- (1) 안구운동 패턴 부호화방식은 특수한 자극이 별도로 필요하지 않고, 제어가 가능한 사카드 안구운동 패턴을 입력하여 컴퓨터내의 트리 제어신호를 출력하는 동안 인터페이스 설계에 적용가능하다.
- (2) 동안 인터페이스의 정보이론 모델을 설계한 결과 코드의 길이는 3.184[cpic]로서, 주시점 선택 방식에 기초한 주사방식 (4.249[cpic]) 보다 효율적이다.
- (3) $\pm 10^\circ$ 과 $\pm 20^\circ$ 이상의 사카드 쌍을 트리의 제어신호인 {좌, 우, 선택} 명령으로 각각 부호화시켜 이진 탐색트리를 제어할 수 있다.
- (4) 사카드 패턴의 실시간 검지를 위한 알고리즘을 제안하였는데, 연속된 사카드 쌍에 대한 검지율은 $\pm 10[^\circ]$ 의 경우는 99 [%], $\pm 20[^\circ]$ 이상인 경우는 90 [%] 이다.
- (5) 수동 입력과 안구입력 실험을 통해 통신비율을 정량적으로 측정할 결과, 평균 20.76 [cpm] 또는 1.86 [bps] 이었다.

(6) 안구피로가 동안 인터페이스 성능에 미치는 영향을 정량화하기 위해 종료비율에 대해 기시비율을 표준화시켜 변동율을 계산한 결과, 2.659 [%] 를 얻었다.

앞으로 한글을 사용하는 통신 인터페이스에 대한 연구가 계속되어야 하며, 또한, 종합정보통신망 (ISDN)과 함께 복지통신 분야의 연구로, 인간의 시각체널 뿐만 아니라 기타 신체 기능을 고려한 인간-기계 통신 인터페이스를 개발하면 통신서비스의 수혜범위를 확장할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 1) Nork CL, Cancar S and Gregory JC, "Environmental Control System for the Severely Handicapped," in The Challenge of Applying Aerospace Innovations to Healthcare, pp.102-104, 1968.
- 2) Holt JD, Leavitt LD, "Eye Controlled Teletypewriter," NASA Tech Brief 73-10514, Langley Research Center, Hampton, Virginia, 1974
- 3) Anderson KE, Iles GH, Smith KC, and Llewellyn Thomas E, "An Eye-Position Controlled Typewriter," Digest of the 11th International Conf. on Med. & Biol. Eng., Ottawa, Canada, pp.410-411, 1976
- 4) Kate JH ten, Frietman EEE, Stoel FJML, and Willems W., "Eye-Controlled Communication Aids," Medical progress Through Technology, Springer-Verlag, 8:1-21, 1980
- 5) Thomas A, "Communications Devices for the Nonvocal Disabled," IEEE Computer, Jan, pp25-30, 1981
- 6) Kate JH ten, Verbeek DGF, Hogervorst R & Donker Duyvis J, "Discrete Eye-Position Recording for Alternative Communication," Medical Progress through Technology, 10:201-211, 1985
- 7) Webster JG, Cook AM, Tomkins WJ & Vanderheiden GC, Electronic Devices for rehabilitation, John Wiley & Sons, 1985
- 8) Yamada M & Fukuda T, "Eye Word Processor (EWP) and Peripheral Controller for the ALS Patient," IEE Proc., 134, Pt. A(4): 328-330, 1987.
- 9) Aho AV, Hopcroft JE and Ullman JD, Data Structures and Algorithm, Addison-Wesley, 1983
- 10) Hamming RW, Coding and Information Theory, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1986