

# Ataxia: 운동거리이상 측정 도구

이주연\*, 황준\*, 박상서\*\*

\* 서울여자대학교 컴퓨터학과

\*\* 국방정보체계연구소

## Ataxia: a Tool for Measuring Dysmetria

Chu-Yeon Lee\*, Jun Hwang\*, Sang Seo Park\*\*

\* Dept. of Computer Engineering, Seoul Women's University

\*\* Institute for Defense Information Systems

### 요 약

운동거리이상(dysmetria)은 운동경로, 속도 및 힘에 대한 조절 능력이 감소되는 것으로서 운동 기능에 심각한 지장을 초래할 수 있다. 본 논문에서는 운동거리이상을 과학적으로 계속하고 분석함으로써 환자의 운동 조절능력을 정량적으로 평가할 수 있는 도구를 개발하였다. 이를 위하여, 터치 스크린상에 그려진 수직 및 수평선의 모른 위치좌표를 추출하기 위한 거북이 알고리즘을 제안하였으며, 이를 이용하여 운동 경로와 운동성을 분석함으로써 상지의 운동실조를 정량적으로 측정할 수 있는 알고리즘을 제안하고 구현하였다.

### 1. 서론

현재 신체 기능을 정량적으로 평가하기 위하여 등속성 근력측정기에 의한 근력평가, 평형판에 의한 인체 압력중심의 측정 등이 시행되고 있으나, 일상동작에 큰 지장을 주는 운동실조에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 운동실조 환자의 객관적 진단, 추적관찰, 치료 효과 판정시 임상적으로 모호성이 상존하고 있으며, 치료제의 개발과 치료법의 개선에 어려움이 있다.

운동실조 환자를 평가하고 치료함에 있어서 기본적으로 필요한 것은 상지의 조절기능을 정확하게 평가하는 것이다. 임상적으로 상지의 운동실조를 평가하는 방법에는 finger to finger test, finger to nose test, nose-finger-nose test, alternate pronation supination test, alternate open close test 등이 있는데 치료 효과의 평가나 환자의 상태 변화를 기술하기에는 민감도가 부족하다[1,2]. 펜 입력 도구를 이용한 디지털 타이저로 운동거리이상을 정량적으로 평가하기 위한 노력도 있었으나 장애가 심한 환자는 펜 입력 도구를 잡을 수 없어 운동실조를 측정하지 못하는 경우가 있었다[3,4].

이와 같은 문제를 해결하기 위하여, 본 연구에서는 터치스크린을 이용한 drawing test를 수행할 수 있도록 관련 알고리즘을 개발하고 구현하였다. 터치스크린을 사용한 이유는 피검자가 실험을 쉽게 이해할 수 있고, 키보드, 마우스, 또는 전자펜보다 입력이 용이하여 운동에 장애가 있는 피검자들에게 적합하며, 입력과 출력이 동일 평면상에 나타난다는 장점이 있기 때문이다. 따라서, finger to nose test에서와 마찬가지로 둘째 손가락을 이용하기 때문에 대상자 전원에 대한 운동실조 측정이 가능할 뿐 아니라, 운동실조를 보다 직접적이고 정량적으로 평가할 수 있다[2,5].

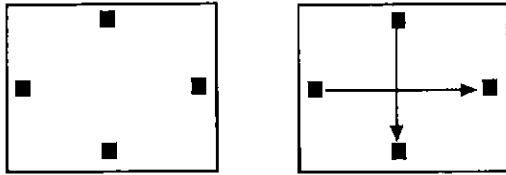
### 2. 개발환경

하드웨어는 586급 PC와 17인치 모니터용 터치스크린을 사용하였다. 운영체제는 Microsoft Windows 95를 기반으로 하였고, 터치스크린 모니터 드라이버를 함께 사용하였다. 개발 도구로는 Microsoft Visual Basic 5.0과 Microsoft Excel 7.0을 사용하였다.

### 3. 실험 순서

Ataxia를 이용하여 피검자의 운동성을 측정하는 과정은 다음과 같다.

- (1) PC의 모니터에 터치스크린 입력기를 설치한다.
- (2) 피검자를 모니터 40cm 앞 정면에 앉게 한다.
- (3) 스크린 상에 (그림 1-a)와 같은 목표점이 나타나게 한다.
- (4) 스크린 상에 손가락으로 (그림 1-b)와 같이 목표점들을 잇는 수평선, 수직선을 그어 준다.
- (5) 스크린의 수평 방향을 x, 수직을 y, 시간을 t라 할 때, 피검자가 그리는 수평 및 수직선(x, y 값)은 스크린에 실시간으로 표시되지만 선의 분석이 필요한 값들은 별도로 저장된다.
- (6) 선긋기가 완료되면 저장되어 있던 값들을 이용하여 운동실조를 분석(4.1절 참조)하고, 그 결과를 Microsoft Excel 화일로 저장한다.



(그림 1) 목표점

4. Ataxia 설계 및 구현

4.1 측정 매트릭

운동실조를 정량적으로 평가하기 위해서 Ataxia는 다음과 같은 사항들을 분석한다.

- 운동 경로 분석
  - 이탈면적(deviation area) 분석
  - 역방향 움직임(reverse movement) 분석
  - 비계속성(discontinuities) 분석
  - 실험지 이탈(beyond) 분석
  - 변환-진폭(turn-amplitude) 분석
- 운동성 분석
  - 운동 속도 분석
  - 운동 가속도 분석

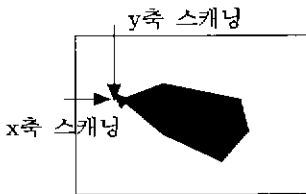
4.2 운동 경로 분석

운동 경로를 분석하기 위해서는 먼저, 피검자가 스크린상에 그려진 실험선의 좌표를 추출하여야 한다. 이를 위하여 본 논문에서는 거북이 알고리즘(Turtle Algorithm)을 제안한다.

4.2.1 거북이 알고리즘

거북이 알고리즘은 스크린 상에 하나의 색깔로 그려진 실험선의 위치좌표를 추출하는 알고리즘으로서 다음과 같이 동작한다.

- (1) 개체의 색을 알아낸다.
- (2) (그림 2)에서와 같이 화면을 x축 방향이나 y축 방향으로 스캐닝하여 시작점을 찾는다.



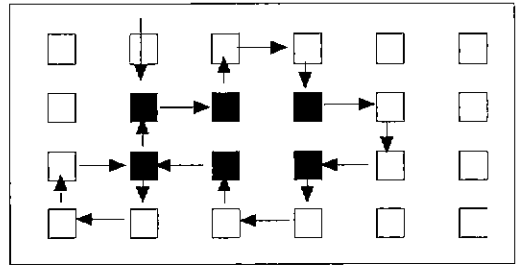
(그림 2) 시작점 찾기

- (3-1) 현재 위치의 좌표가 (1)에서 찾아낸 색(이하 개체점)이면 이전좌표에서 현재좌표로 이동한 진행방향에서의 왼쪽으로 이동한다. 예를 들어, 좌표(1,1)에서 좌표(1,2)로 이동했다면 이동방향은 아래에서 위이므로 다음 이동좌표는 (0,2)가 된다.
- (3-2) 현재 위치의 좌표가 개체점이 아니면 이전좌표에서 현재좌표로 이동한 진행방향에서의 오른쪽으로 이동한다. 예를 들어, 좌표(1,1)에서 좌표(1,2)로 이동했다면 이동방향은 아래에서 위이다. 그러므로 다음 이동좌표는 (2,2)가 된다.

(3-3) 현재의 좌표가 처음좌표라면 이 좌표를 찾아낼 때의 이동방향에서 항상 왼쪽으로 이동한다. 예를 들어, 처음좌표가 (10, 10)인데 위에서 아래로 y축 스캐닝을 해서 이 좌표를 찾아냈다면, 다음 좌표는 (11,10)이다.

(4) 좌표를 이동하다가 시작점을 만나면 멈춘다.

이 과정을 예로 보이면 (그림 3)과 같다.

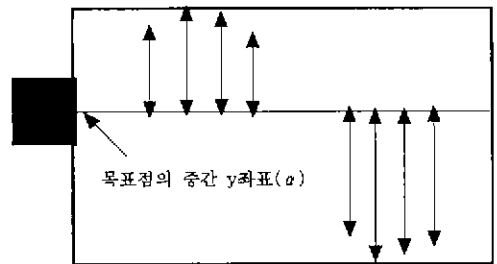


(그림 3) 거북이 알고리즘을 이용한 실험선의 위치좌표 찾기

4.2.2 이탈면적 분석

이탈면적 분석은 목표점의 중간 y 좌표를  $\alpha$ , 모든 위치좌표의 개수를 m이라 할 때, 모든 y 좌표에 대해서 (식 1)과 같이 계산된다. 이 과정은 (그림 4)와 같이 표현될 수 있다.

$$\sum_{i=1}^m |value(y_i) - \alpha| \text{ for all } 1 \leq i \leq m \quad (1)$$



(그림 4) 이탈면적 구하기

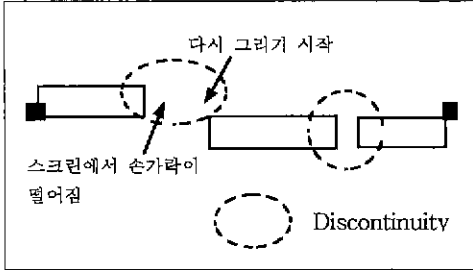
4.2.3 역방향 움직임 분석

역방향 움직임 분석은 피검자가 실험선을 그리는 방향의 반대 방향으로 선을 그린 것을 찾아내는 것으로 실험선의 좌표를 분석하여 다음과 같은 경우를 고려한다.

- (1) 왼쪽에서 오른쪽으로의 수평선 실험인 경우: x좌표의 값이 증가하다가 감소한 후 다시 증가하는 부분이 나타난 경우
- (2) 오른쪽에서 왼쪽으로의 수평선 실험인 경우: x좌표의 값이 감소하다가 증가한 후 다시 감소하는 부분이 나타난 경우
- (3) 위쪽에서 아래쪽으로의 수직선 실험인 경우: y좌표의 값이 감소하다가 증가한 후 다시 감소하는 부분이 나타난 경우
- (4) 위쪽에서 아래쪽으로의 수직선 실험인 경우: y좌표의 값이 증가하다가 감소한 후 다시 증가하는 부분이 나타난 경우

4.2.4 비계속성 분석

비계속성 분석은 (그림 5)와 같이 피검자가 그린 실험선이 연속되지 않는 부분을 찾아내는 것이다.



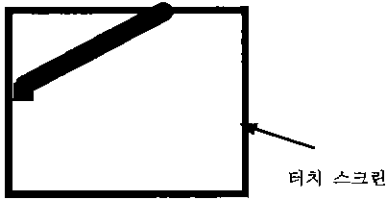
(그림 5) 비계속성 분석

Ataxia에서는 실험선의 좌표를 분석하여 (식 2)와 같은 경우를 비계속성 부분으로 식별한다.

$$\begin{cases} |value(x_{i-1}) - value(x_i)| \geq 2 \text{ 또는} \\ |value(y_{i-1}) - value(y_i)| \geq 2 \end{cases} \text{ for all } 2 \leq i \leq m \quad (2)$$

4.2.5 실험지 이탈 분석

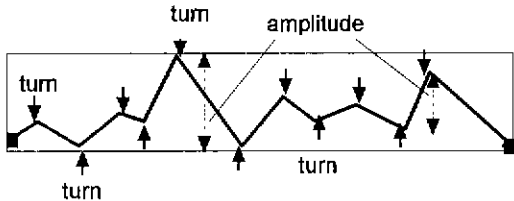
실험도중 (그림 6)과 같이 실험지(터치 스크린)에서 손가락이 벗어나면 실험을 다시 시행해야 한다. 실험지 이탈의 횟수도 운동성능을 분석하는데 중요한 요인이 된다.



(그림 6) 실험지 이탈

4.2.6 변환-진폭 분석

(그림 7)에서 볼 수 있는 바와 같이 변환(turn)은 수평실험일 경우에는 y축, 수직실험일 경우에는 x축 방향에서의 방향 전환점이고, 변환과 변환사이의 거리를 진폭(amplitude)이라 한다. 변환-진폭 분석은 실험선의 변환의 횟수와 그 정도를 분석하는 것이다.



(그림 7) 변환과 진폭

변환-진폭 분석은 다음과 같은 세부 사항을 분석한다.  
 ○ Drawing Time: 시작점에서 끝점까지 그리는데 소요된 시간

- Number of Turns: 선의 시작점에서 목표점까지의 전체 변환수
- Turn/sec: 일정한 시간당(예: 1/50초) 변환의 수
- Average of Amplitude/turn: 변환당 진폭의 평균
- Maximum Amplitude: 최대 진폭(cm)

4.3 운동성 분석

피검자의 운동성은 운동 속도와 운동 가속도로 측정될 수 있다.

4.3.1 운동 속도 분석

운동성 분석은 다음과 같은 과정으로 수행된다.

- (1) (식 3)을 이용하여 시간에 따른 속도 곡선  $V = f(t)$ 를 구한다.

$$V = \left\{ \left( \frac{dx}{dt} \right)^2 + \left( \frac{dy}{dt} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

- (2) 이 속도곡선에 대하여 변환-진폭 분석 및 주파수 스펙트럼 분석을 수행한다.

4.3.2 운동 가속도 분석

식  $F = m \times a$ 에 의하면 상지의 질량은 일정하다고 볼 수 있으므로 가속도는 힘에 비례한다고 볼 수 있다. 따라서 운동 가속도의 분석을 통해 힘조절 양상을 알 수 있다.

운동 가속도 분석은 다음과 같은 과정으로 수행된다.

- (1) 속도곡선  $V=f(t)$ 를 시간  $t$ 로 미분하여 가속도 곡선  $a = f'(t)$ 를 얻는다.
- (2) 이 곡선에 대하여 변환-진폭 분석과 주파수 스펙트럼 분석을 수행한다.

5. 결론

본 논문에서는 재활의학이나 스포츠 과학 분야에서 많이 사용되는 운동조절 능력에 대한 정량적 자료를 추출하는 도구의 개발에 대하여 기술하였다. 본 논문에서는 실험선의 좌표를 추적하기 위하여 거북이 알고리즘을 제안하였으며, 운동 경로와 운동성 분석에 관련된 7가지 주요 메트릭을 분석할 수 있는 도구를 구현하였다.

본 논문에서 기술된 도구는 임상실험 결과[2], 운동거리 이상을 정량적이고 다각적으로 분석할 수 있는 충분한 자료를 제공할 뿐 아니라, 기존의 임상실험 결과와 유사한 상관관계를 보여, 임상에서 상지조절능력을 정량적으로 분석하는 도구로서 의의가 있는 것으로 평가되고 있다.

참고문헌

- [1] R. Dejong, *The Neurologic Examination, 4<sup>th</sup> ed*, 1979, pp. 324-327, pp. 396-401.
- [2] 이경무 외, "운동거리이상의 정량적 평가," *대한재활의학회지*, 제22권 제2호, 1998, pp. 351-360.
- [3] 김재욱, 이경무, "디지털타이저를 이용한 운동거리이상의 평가," *대한재활의학회지*, 제19권, 1995, pp. 890-896.
- [4] E. Elble, et al., "Quantification of Tremor with a Digitizing Tablet," *Journal of Neurosci Methods*, Vol. 32, No. 3, 1990, pp. 193-198.
- [5] 황준 외, *운동분석 시스템 연구*, 연구보고서, 서울여자대학교, 1998.