

Comportamiento peatonal y desastre de multitudes



“How simple rules determine pedestrian behavior
and crowd disasters”

Mehdi Moussaid, Dirk Helbing and Guy
Theraulaz

| PNAS | April 26, 2011 | vol. 108 | no. 17

Modelo cognitivo de comportamiento peatonal

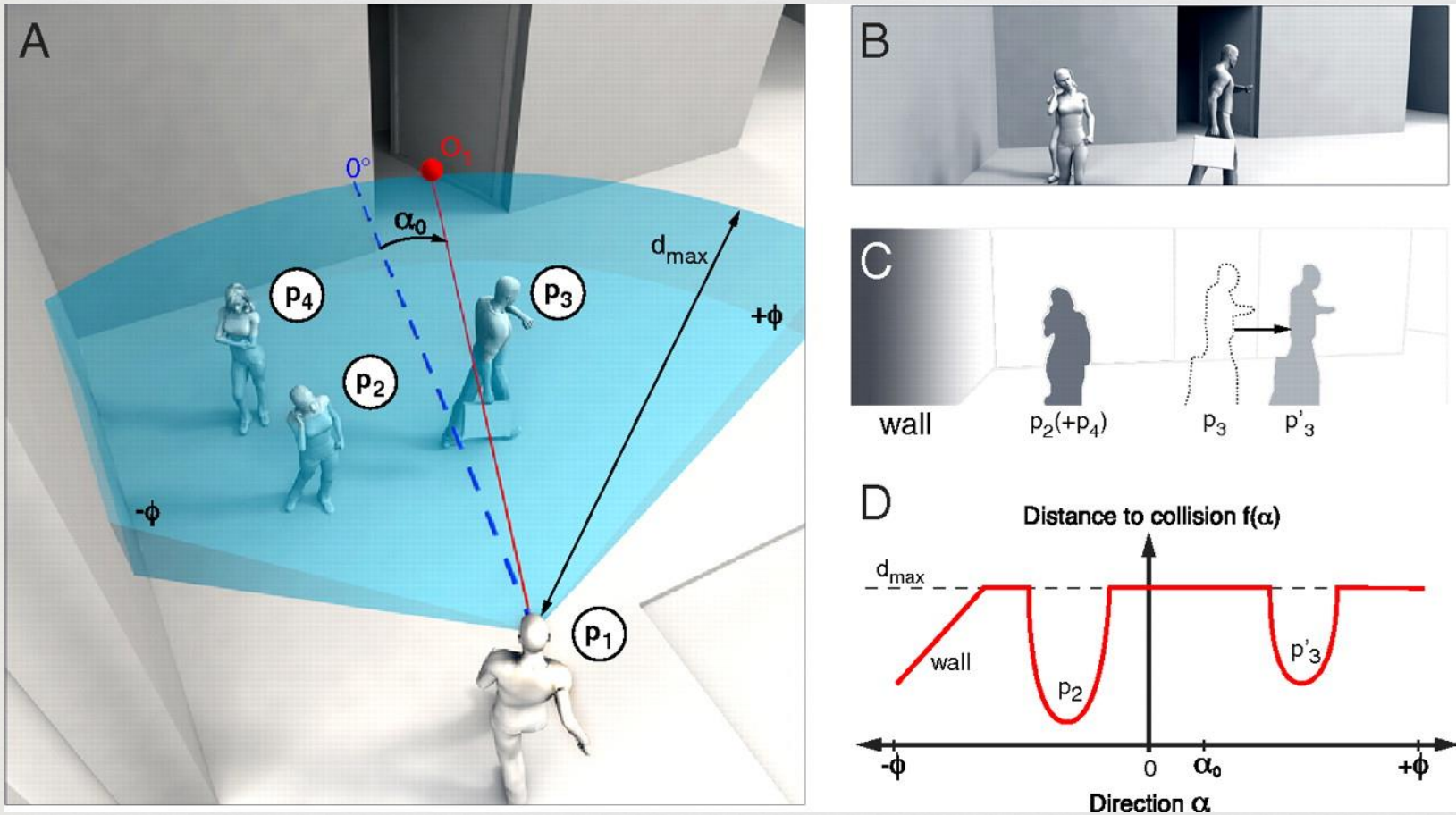


- ❧ i) La visión es la principal fuente de información usada por los peatones para controlar su movimiento.
- ❧ ii) Se proponen dos procesos por los cuales de acuerdo a la información visual adquirida se obtiene el movimiento deseado del peatón.
- ❧ iii) Se asume que los peatones están continuamente adaptando su movimiento para que coincida con su movimiento deseado con un tiempo de relajación de $\tau = 0,5$ s.

Representación de la información visual



- En el modelo, cada peatón está caracterizado por su posición \vec{x}_i y su velocidad \vec{v}_i actuales, por su proyección en el plano horizontal r_i , su velocidad de caminata confortable v_i^0 y su punto de destino O_i .
- Para todas las posibles direcciones α en el campo de visión del peatón $[-\phi, \phi]$ se computa la distancia a la primera colisión $f(\alpha)$. Si no se espera una colisión en cierta dirección α , $f(\alpha)$ se fija a un valor $d_{\text{máx}}$ correspondiente al de la “distancia de horizonte del peatón”.



(A) Ilustración de un peatón p_1 de cara a otros tres sujetos tratando de alcanzar el punto de destino O_1 en rojo. La línea azul corresponde a la línea de visión. (D) Representación gráfica de la función $f(\alpha)$ que refleja la distancia a la primera colisión en la dirección α .

Formulación de procesos cognitivos



- 1) Un peatón elige la dirección α_{des} que le permite tomar el camino más directo a su punto de destino O_i , teniendo en cuenta la presencia de obstáculos. La dirección $\alpha_{des}(t)$ es computada a través de la minimización de la distancia al destino.

$$d(\alpha) = d_{m\acute{a}x}^2 + f(\alpha)^2 - 2d_{m\acute{a}x}f(\alpha)\cos(\alpha_0 - \alpha)$$

donde α_0 es la dirección del punto de destino.



2) Como un período τ es requerido por los peatones para detenerse en el caso de un obstáculo inesperado, éstos deben compensar esta demora manteniéndose a una distancia segura de los obstáculos.

$$\overrightarrow{v}_{des}(t) = \text{mín}(v_i^0, d_h / \tau) \overrightarrow{\alpha}_{des}(t)$$

donde d_h es la distancia entre el peatón i y el primer obstáculo en la dirección $\overrightarrow{\alpha}_{des}(t)$.

$$d\overrightarrow{v}_i / dt = (\overrightarrow{v}_{des} - \overrightarrow{v}_i) / \tau$$

Efectos de las colisiones



En casos de densidades de peatones muy grandes, es necesario distinguir entre la evitación voluntaria de éstos de acuerdo a la información visual percibida (a fin de evitar colisiones) y los movimientos involuntarios que resultan de las fuerzas de interacción causadas por las colisiones.

Las colisiones pueden darse entre los peatones mismos o entre un peatón y una pared. Éstas dos interacciones físicas se modelan como fuerzas de contacto.



$$\vec{f}_{ij} = kg(r_i + r_j - d_{ij})\vec{n}_{ij}$$

$$\vec{f}_{iW} = kg(r_i - d_{iW})\vec{n}_{iW}$$

donde $g(x)=0$ si el peatón y el otro peatón o la pared no se tocan y $g(x)=x$ en caso de que sí se toquen.

La aceleración nos queda:

$$d\vec{v}_i/dt = (\vec{v}_{des} - \vec{v}_i)/\tau + \sum_j \vec{f}_{ij}m_i + \sum_W \vec{f}_{iW}m_i$$

Definición de velocidad local



Para analizar los movimientos colectivos se debe definir una velocidad local:

$$V(x, t) = \frac{\sum_i \|\vec{v}_i\| f(d_{i x})}{\sum_i f(d_{i x})}$$

con función de peso:

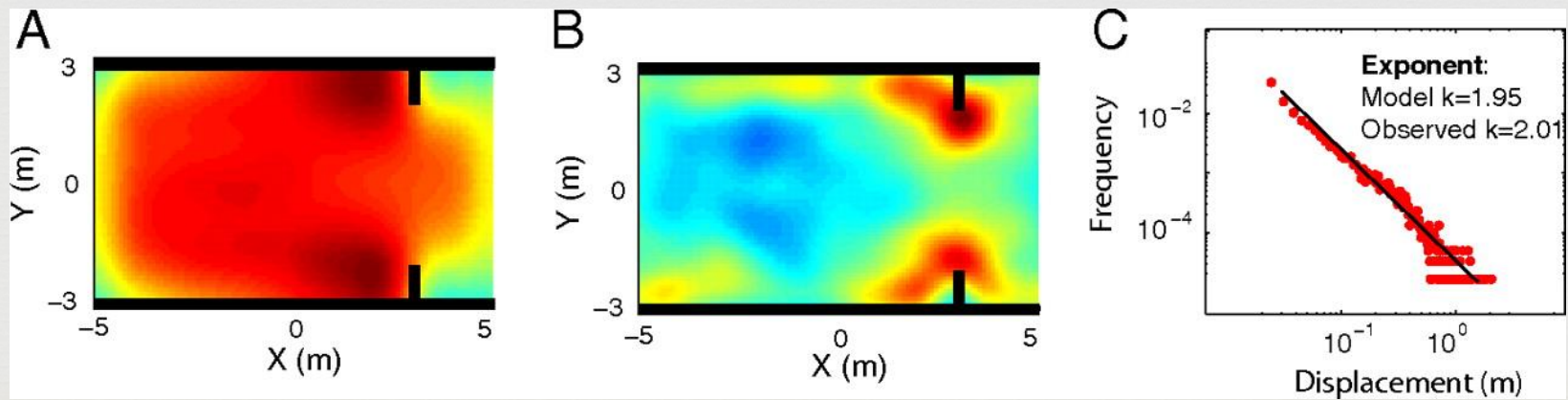
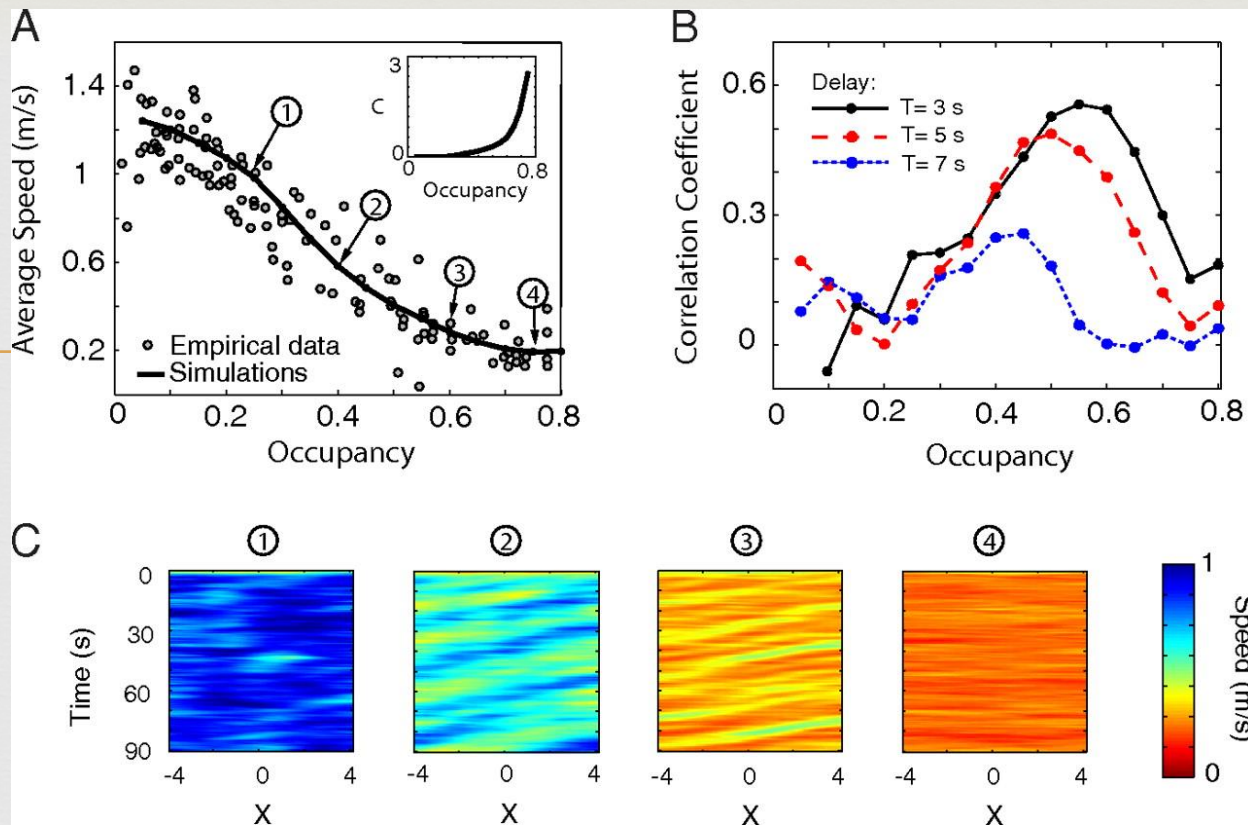
$$f(d) = \frac{1}{\pi R^2} e^{-\frac{d^2}{R^2}}$$

Comparación del modelo teórico con datos empíricos



- Se investigó la influencia de la densidad peatonal en los flujos unidireccionales. La relación de velocidad-densidad predicha por el modelo va en buen acorde con los datos empíricos (Older SJ (1968) Movement of pedestrians on footways in shopping streets. Traffic Eng Control 10:160–163.
- Además, cuando la densidad excede valores críticos el modelo muestra transiciones de flujos suaves a ondas tipo “stop-and-go” y a turbulencias de multitudes, como se observa en desastres de multitudes (Helbing D, Johansson A, Al-Abideen HZ (2007) Dynamics of crowd disasters: An empirical study. Phys Rev E 75:046109.)

- ✧ En la figura 3A se observa la relación de la velocidad local en función de la densidad.
- ✧ En la figura 3C se observan diagramas espacio-tiempo para varios niveles de densidad. En el régimen 1, de baja densidad, se puede observar un flujo laminar suave, mientras que en los regímenes 2 y 3, de mayor densidad se observan ondas tipo “stop-and-go”. Éstas resultan de las perturbaciones locales causadas por la competencia de los agentes individuales por los huecos vacíos, que ocasionan una reacción en cadena de maniobras de frenado dando lugar a ondas que se expanden hacia atrás.
- ✧ A densidades mayores (figura 4A) los movimientos voluntarios de los peatones son reemplazados por movimientos involuntarios, rompiéndose el movimiento coordinado de peatones, ocasionando patrones de movimiento muy fluctuantes llamados “turbulencia de multitudes”.



Conclusiones



- ☞ Mediante premisas simples de comportamiento se puede llegar a un muy satisfactorio modelo de comportamiento colectivo acorde a los datos empíricos observados en situaciones de la vida real.
- ☞ Este modelo tiene aplicaciones prácticas muy importantes en la implementación de mejoras en la arquitectura de las vías de escape así como en la organización de eventos masivos.