ASYNCHRONOUS

OPERATIONS

Danel Ahman **Matija Pretnar**

University of Ljubljana, Slovenia

THE IDEA

ordinary reductions

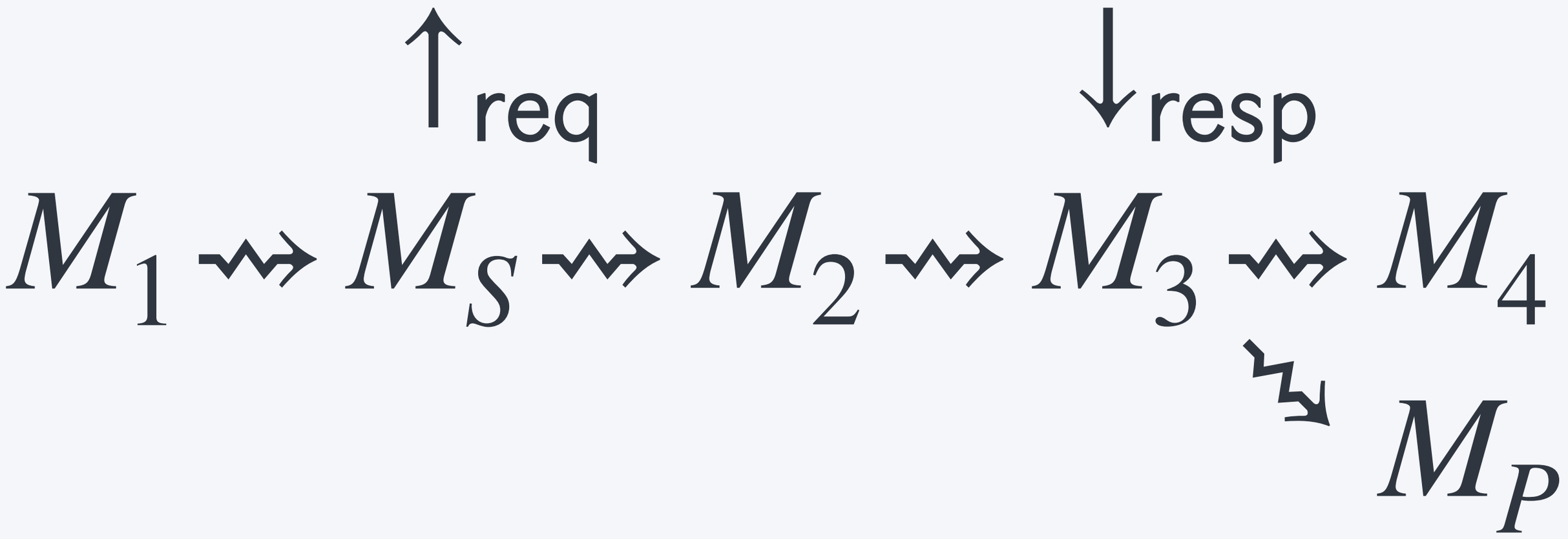
$$M_1 \twoheadrightarrow M_2 \twoheadrightarrow M_3 \twoheadrightarrow M_4 \twoheadrightarrow M_5$$

algebraic effects

$$\uparrow_{\mathrm{op}} \qquad \downarrow_{\mathrm{res}}$$

$$M_1 \rightsquigarrow M_2 \qquad M_3 \rightsquigarrow M_4 \rightsquigarrow M_5$$

asynchronous requests



serving requests

$$M_1 \rightsquigarrow M_W \rightsquigarrow M_P \rightsquigarrow M_S \rightsquigarrow M_W$$

↓req ↑resp

preemptive multithreading

$$M_1 \twoheadrightarrow M_2 \twoheadrightarrow M_2^w \twoheadrightarrow M_2 \twoheadrightarrow M_3$$

↓stop ↓go

timer

$$\uparrow_{\text{tick}} \quad \uparrow_{\text{tock}} \quad \uparrow_{\text{tick}} \quad \uparrow_{\text{tock}}$$

$$M_1 \rightsquigarrow M_2 \rightsquigarrow M_1 \rightsquigarrow M_2 \rightsquigarrow M_1$$

BASIC **CALCULUS**

$$\Gamma \vdash_{\mathsf{v}} V : A$$

$$\Gamma \vdash_{\mathsf{c}} M : A$$

$$\frac{(x : A) \in \Gamma}{\Gamma \vdash_{\mathsf{v}} x : A}$$

$$\Gamma \vdash_{\mathsf{v}} () : \mathsf{unit}$$

$$\frac{\Gamma, x : A \vdash_{\mathsf{c}} M : B}{\Gamma \vdash_{\mathsf{v}} \mathsf{fun}\ x \mapsto M : A \to B}$$

$$\frac{\Gamma \vdash_{\mathsf{v}} V : A \to B \qquad \Gamma \vdash_{\mathsf{v}} W : A}{\Gamma \vdash_{\mathsf{c}} V\, W : B}$$

$$\frac{\Gamma \vdash_{\mathsf{v}} V : A}{\Gamma \vdash_{\mathsf{c}} \mathsf{return}\ V : A}$$

$$\frac{\Gamma \vdash_{\mathsf{c}} M : A \qquad \Gamma, x : A \vdash_{\mathsf{c}} N : B}{\Gamma \vdash_{\mathsf{c}} \mathsf{do}\ x \leftarrow M\ \mathsf{in}\ N : B}$$

$$M \rightsquigarrow M'$$

$$\frac{}{(\mathsf{fun}\ x \mapsto M)\ V \rightsquigarrow M[V/x]}$$

$$\frac{M \rightsquigarrow M'}{\mathsf{do}\ x \leftarrow M\ \mathsf{in}\ N \rightsquigarrow \mathsf{do}\ x \leftarrow M'\ \mathsf{in}\ N}$$

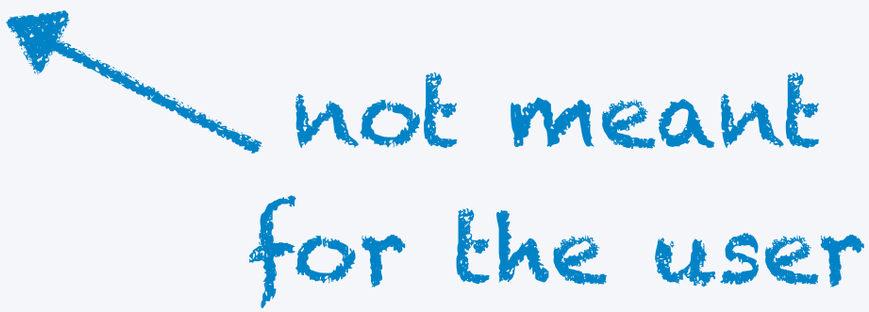
$$\frac{}{\mathsf{do}\ x \leftarrow \mathsf{return}\ V\ \mathsf{in}\ N \rightsquigarrow N[V/x]}$$

live demo

OPERATIONS & HOOKS

$$\frac{\mathsf{op} : A \in \Sigma \qquad \Gamma \vdash_{\mathsf{v}} V : A \qquad \Gamma \vdash_{\mathsf{c}} M : B}{\Gamma \vdash_{\mathsf{c}} \mathsf{op}^{\uparrow}\ (V, M) : B}$$

$$\frac{\mathsf{op} : A \in \Sigma \qquad \Gamma \vdash_{\mathsf{v}} V : A \qquad \Gamma \vdash_{\mathsf{c}} M : B}{\Gamma \vdash_{\mathsf{c}} \mathsf{op}^{\downarrow}\ (V, M) : B}$$



$$\frac{}{\mathsf{do}\ x \leftarrow \mathsf{op}^{\uparrow}\ (V, M)\ \mathsf{in}\ N \rightsquigarrow \mathsf{op}^{\uparrow}\ (V, \mathsf{do}\ x \leftarrow M\ \mathsf{in}\ N)}$$

$$\frac{M \rightsquigarrow M'}{\mathsf{op}^{\downarrow}\ (V, M) \rightsquigarrow \mathsf{op}^{\downarrow}\ (V, M')}$$

$$\frac{}{\mathsf{op}^{\downarrow}\ (V, \mathsf{return}\ W) \rightsquigarrow \mathsf{return}\ W}$$

$$\frac{}{\mathsf{op}^{\downarrow}\ (V, \mathsf{op}'^{\uparrow}\ (W, M)) \rightsquigarrow \mathsf{op}'^{\uparrow}\ (W, \mathsf{op}^{\downarrow}\ (V, M))}$$

$$\mathsf{op} : A \in \Sigma \quad \Gamma, x : A \vdash_{\mathsf{c}} M : B \quad \Gamma, y : B \vdash_{\mathsf{c}} N : C$$

$$\Gamma \vdash_{\mathsf{c}} \text{with } \mathsf{op}\ x \mapsto M \text{ as } y \text{ do } N : C$$

$$\frac{}{\text{do } x \leftarrow (\text{with op}^{\downarrow}\ y \mapsto M_1 \text{ as } z \text{ do } M_2) \text{ in } N \rightsquigarrow \text{with op}^{\downarrow}\ y \mapsto M_1 \text{ as } z \text{ do } (\text{do } x \leftarrow M_2 \text{ in } N)}$$

$$\frac{N \rightsquigarrow N'}{\text{with op}^{\downarrow}\ x \mapsto M \text{ as } y \text{ do } N \rightsquigarrow \text{with op}^{\downarrow}\ x \mapsto M \text{ as } y \text{ do } N'}$$

open terms!

$$\frac{}{\mathsf{op}^{\downarrow}\ (V, \mathsf{with}\ \mathsf{op}^{\downarrow}\ x \mapsto M\ \mathsf{as}\ y\ \mathsf{do}\ N) \rightsquigarrow \mathsf{do}\ y \leftarrow M[V/x]\ \mathsf{in}\ \mathsf{op}^{\downarrow}\ (V, N)}$$

$$\frac{}{\mathsf{op}'^{\downarrow}\ (V, \mathsf{with}\ \mathsf{op}^{\downarrow}\ x \mapsto M\ \mathsf{as}\ y\ \mathsf{do}\ N) \rightsquigarrow \mathsf{with}\ \mathsf{op}^{\downarrow}\ x \mapsto M\ \mathsf{as}\ y\ \mathsf{do}\ \mathsf{op}'^{\downarrow}\ (V, N)}$$

nondeterministic

$$\frac{}{\mathsf{with}\ \mathsf{op}^{\downarrow}\ x \mapsto M\ \mathsf{as}\ y\ \mathsf{do}\ \mathsf{op}'^{\uparrow}\ (V, N) \rightsquigarrow \mathsf{op}'^{\uparrow}\ (V, \mathsf{with}\ \mathsf{op}^{\downarrow}\ x \mapsto M\ \mathsf{as}\ y\ \mathsf{do}\ N)}$$

$$\text{do } x \leftarrow (\text{with op}^{\downarrow}\ y \mapsto M_1 \text{ as } z \text{ do } M_2) \text{ in } N \rightsquigarrow \text{with op}^{\downarrow}\ y \mapsto M_1 \text{ as } z \text{ do } (\text{do } x \leftarrow M_2 \text{ in } N)$$

algebraic operation

$$\text{op}^{\downarrow}\ (V, \text{return } W) \rightsquigarrow \text{return } W$$

homomorphism

$$\text{op}^{\downarrow}\ (V, \text{with op}^{\downarrow}\ x \mapsto M \text{ as } y \text{ do } N) \rightsquigarrow \text{do } y \leftarrow M[V/x] \text{ in op}^{\downarrow}\ (V, N)$$

$$\text{op}'^{\downarrow}\ (V, \text{with op}^{\downarrow}\ x \mapsto M \text{ as } y \text{ do } N) \rightsquigarrow \text{with op}^{\downarrow}\ x \mapsto M \text{ as } y \text{ do op}'^{\downarrow}\ (V, N)$$

live demo

PARALLELISM

$$M_1 \;||\; \cdots \;||\; M_n$$

$$\rightsquigarrow$$

$$M'_1 \;||\; \cdots \;||\; M'_n$$

$$\frac{M_i \rightsquigarrow M_i'}{M_1 \parallel \cdots \; M_i \; \cdots \parallel M_n \rightsquigarrow M_1 \parallel \cdots \; M_i' \; \cdots \parallel M_n}$$

$$\frac{}{M_1 \parallel \cdots \; \mathsf{op}^{\uparrow}\,(V, M_i) \; \cdots \parallel M_n \rightsquigarrow \mathsf{op}^{\downarrow}\,(V, M_1) \parallel \cdots \; M_i' \; \cdots \parallel \mathsf{op}^{\downarrow}\,(V, M_n)}$$

live demo

FUTURE WORK

$$TX \cong X + \coprod_{\mathrm{op}:A \in \Sigma} (A \times TX) + \coprod_{\mathrm{op}:A \in \Sigma} (A \Rightarrow TTX)$$

handle M with H

$$M \Downarrow V$$

$$M_1 \;||\; \cdots \;||\; M_n$$

$$\rightsquigarrow$$

$$M'_1 \;||\; \cdots \;||\; M'_n$$

QUESTIONS?