TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

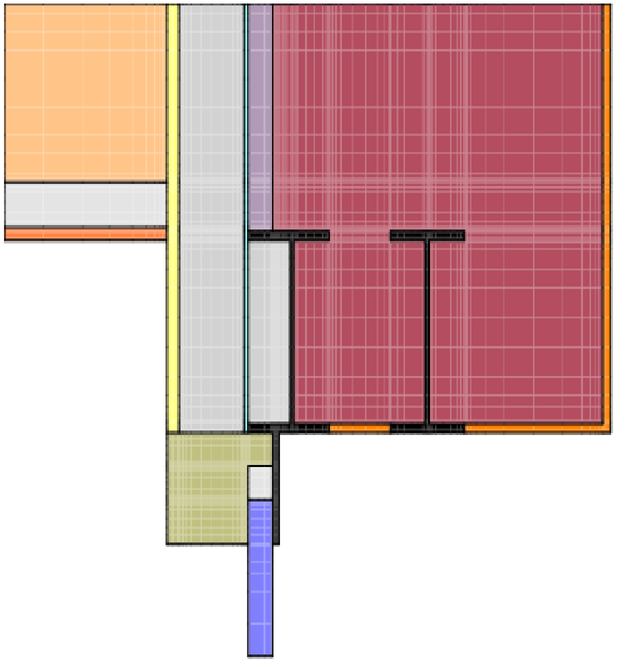
Fakultät Architektur, Institut für Bauklimatik, Lehrstuhl Bauphysik

Softwareentwicklung von Bauteil-, Raum- und Gebäudesimulation

Anne Paepcke, Andreas Nicolai,
Stefan Vogelsang

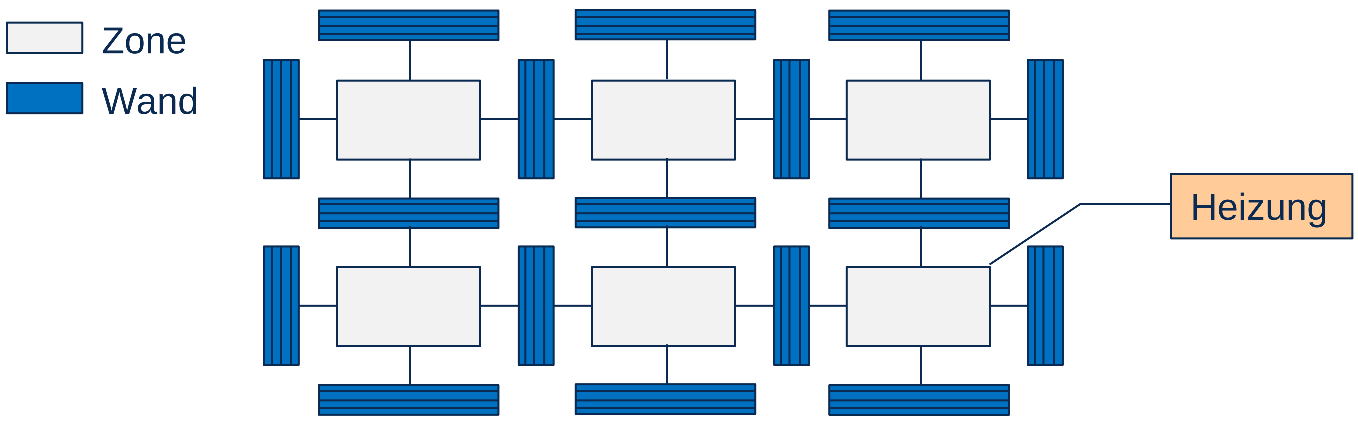
Dresden, 27.03.2014

Hygrothermische Simulation von Wandkonstruktionen



- Simulation des hygrothermischen Transportes (Wärme, Wasserdampf und Flüssigwasser) im porösen Medium
- 1D-, 2D- und 3D- Geometrien
- Diskretisierung durch Finite-Volumen-Methoden
- Wandmodellierung über graphische Benutzeroberfläche
- Integrierte Material, und-Klimadatenbank

Multizonensimulation komplexer Gebäude



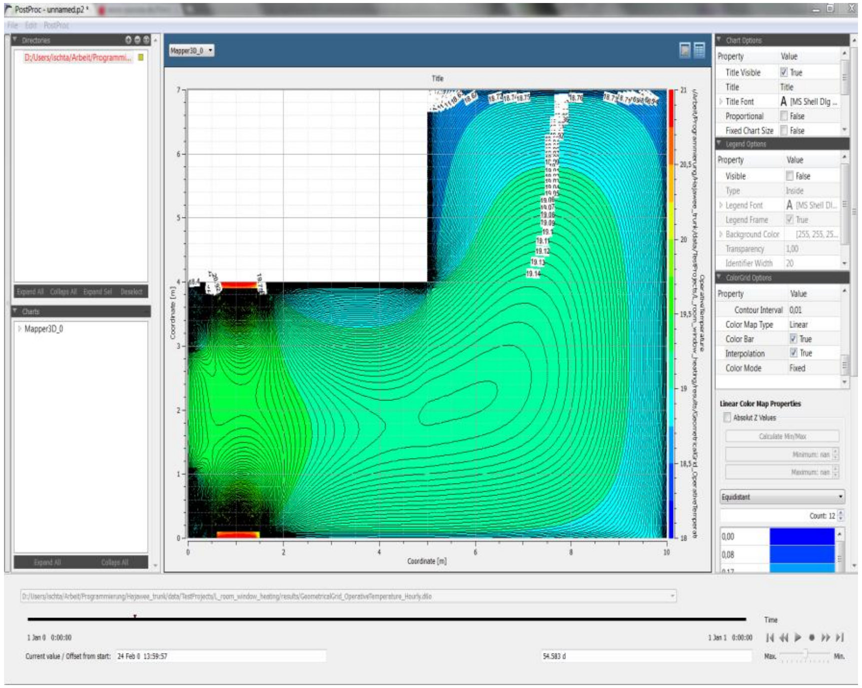
Dynamisches Netzwerk thermisch aktiver/passiver Komponenten

Passive Komponenten: Zonenbilanzen + eindimensional raumaufgelöste Wandbilanzen

Aktive Komponenten: Anlagenkomponenten, generisch erweiterbar

Gebäudemodellierung durch BIM-Datenimport (IFC, IDF)

Behaglichkeitssimulation eines Raumes



DynRoom Modell

Geometrisch detailgetreue Simulation des Raumes + Wandumschließungsflächen

Langwellige Strahlungsbilanz

Hygrothermische Wand- und Raumsimulation

Heizung und Lüftung

HAJAWEE

Graphische Nutzeroberfläche

Systemeigenschaften

Steife dynamische Systeme

Große Systeme (Partielle Differentialgleichungen)

Nichtlineare Systeme (Hygrothermischer Transport, Anlagenregelung)

Schwachbesetzte Kopplungsmatrizen mit charakteristischer Besetzungsstruktur (Topologie von Multizonennetzwerken, Nachbarschaftsbeziehungen in Finite-Volumen-Gittern)

Kopplungsmatrizen mit dominierenden symmetrischen und schwach antisymmetrischen Anteilen (Diffusion und Konvektion)

Integrationsplattform (A. Nicolai)

Integrator

Lösung des Systems $\dot{y} = f(t, y)$

Zeitintegration (*implizite Mehrschrittverfahren mit adaptiver Zeitschrittkontrolle*)

Lösung der nichtlinearen Gleichungssysteme (*Vereinfachtes Newton-Raphson-Verfahren)*

y

Modell (*DELPHIN, NANDRAD, DynRoom*)

Modellgleichungen

$f(t, y)$

Lineare Gleichungssysteme

Matrixassemblierung

Lösung linearer Gleichungssysteme

Vorkonditioner

Systemeigenschaften

Große Systeme (Partielle Differentialgleichungen)

Effiziente Lösung linearer Gleichungssysteme

Effiziente Modellauswertung

Projektionsmethoden (Krylow-Unterraum-Methoden)

Löse $\langle \mathbf{b} - \mathbf{A}\mathbf{x}, \mathbf{v}_m \rangle = 0$ anstelle $\mathbf{A}\mathbf{x} = \mathbf{b}$

Krylow-Unterraum: $\mathcal{K}_m = span\{\mathbf{r}_0, \mathbf{A}\mathbf{r}_0, \mathbf{A}^2\mathbf{r}_0, \cdots, \mathbf{A}^{m-1}\mathbf{r}_0\}$

Häufige Wahl : $\mathbf{x} \in \mathbf{x}_0 + \mathcal{K}_m$ und $\mathbf{v}_m \in \mathcal{K}_m$

Vorkonditionierung: Löse $\mathbf{P}_L^{-1}\mathbf{A}\mathbf{P}_R^{-1}\mathbf{x} = \mathbf{P}_L^{-1}\tilde{\mathbf{b}}$

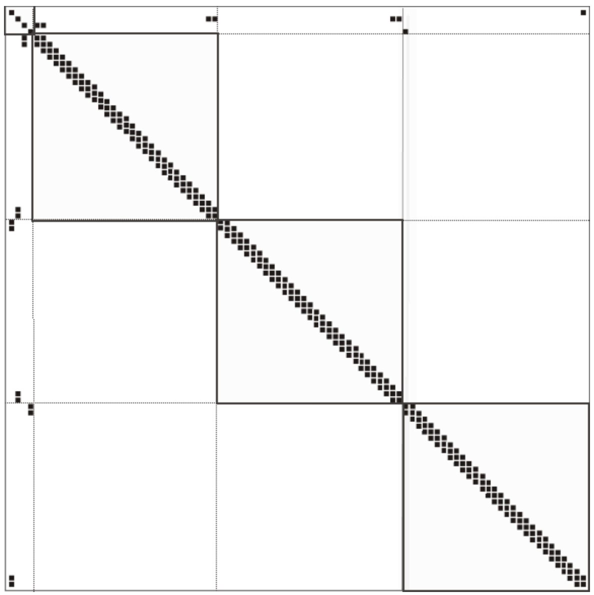
Geeignet für schwachbesetzte Matrizen

Vorzeitiger Verfahrensabbruch möglich bei guter Vorkonditionierung

Initiutiver Zugang zu Parallelisierung

(S. Vogelsang)

Vorkonditionierer



Unvollständige LR-Zerlegung
ILU mit Fill-In

Splitting-Vorkonditionierer
Richtungssplitting, SSOR mit Relaxation

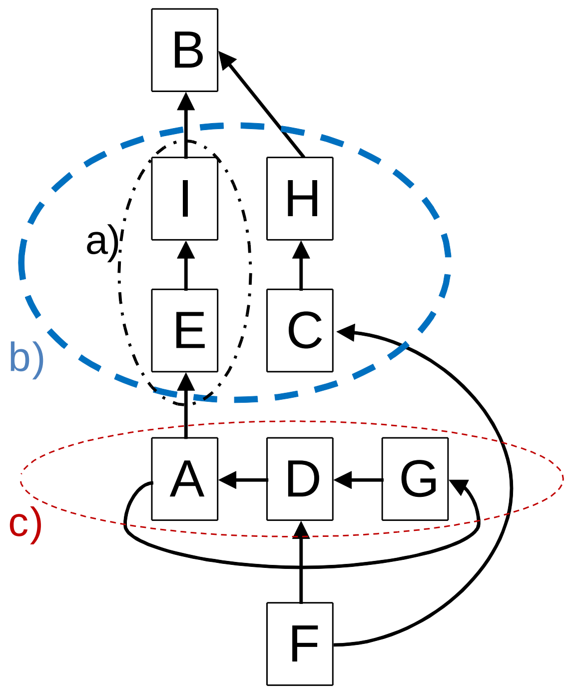
$$\mathbf{P} = \frac{1}{\tau}\left(\mathbf{I} + \tau\mathbf{A}_1\right)\left(\mathbf{I} + \tau\mathbf{A}_2\right)$$

Bandreduktion
(Korrekte Behandlung räumlich eindimensionaler Transportprobleme)

Blockvarianten
(Korrekte Behandlung hygrothermischer Kopplungen)

Parallelisierbare Vorkonditionierer

Minimierung der Funktionsauswertungen



Matrixassemblierung

Curtis-Powell-Reid für Bandmatrizen (Bauteilsimulation)

Coloring-Algorithmus für schwachbesetzte Matrizen (Gebäudesimulation)

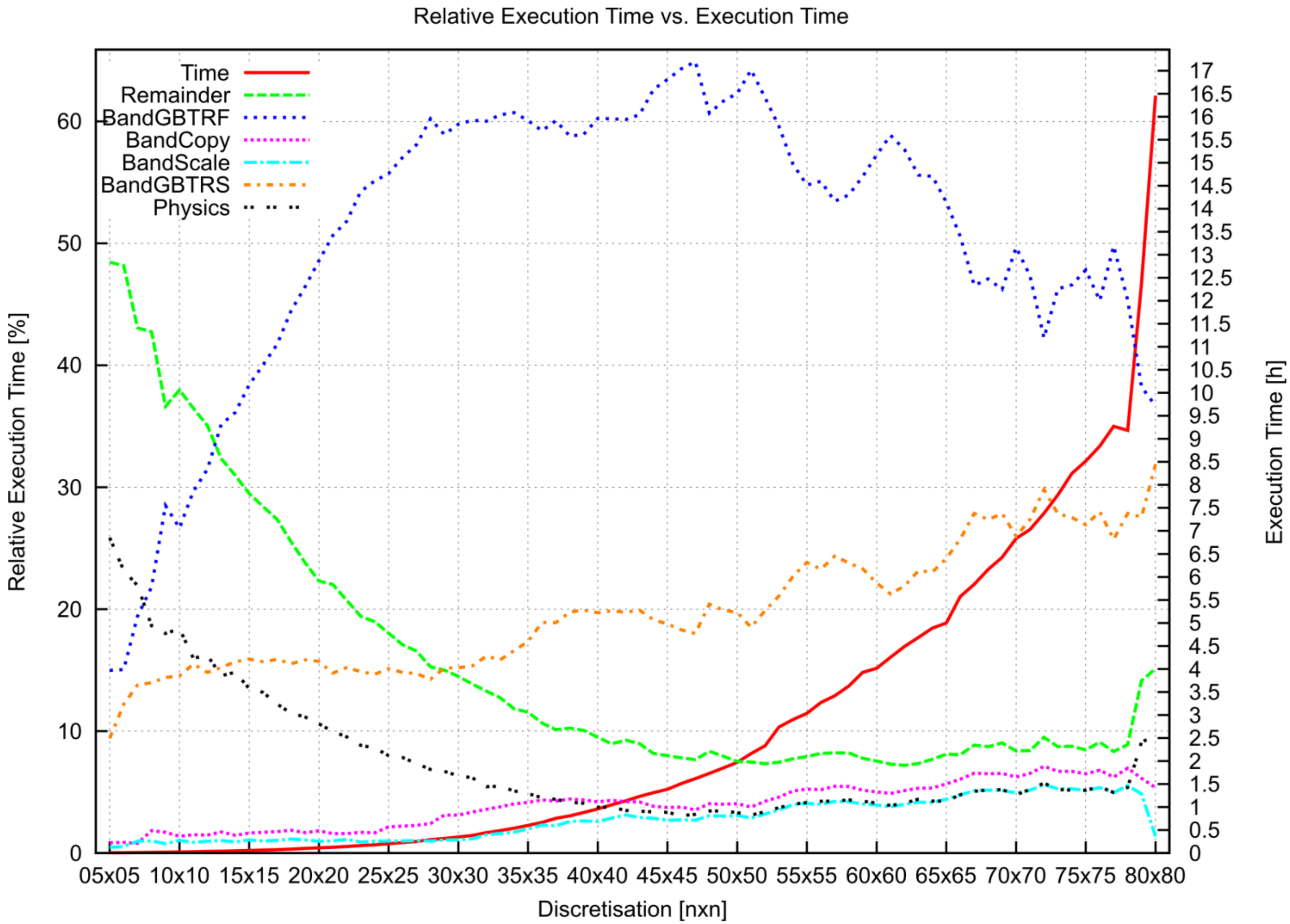
Modellgleichungen

Newton-Verfahren (Interne nichtlineare Zusammenhänge)

Graphenalgorithmen zur Modellordnung (Gebäudesimulation)

Parallelisierung durch Gebietszerlegung

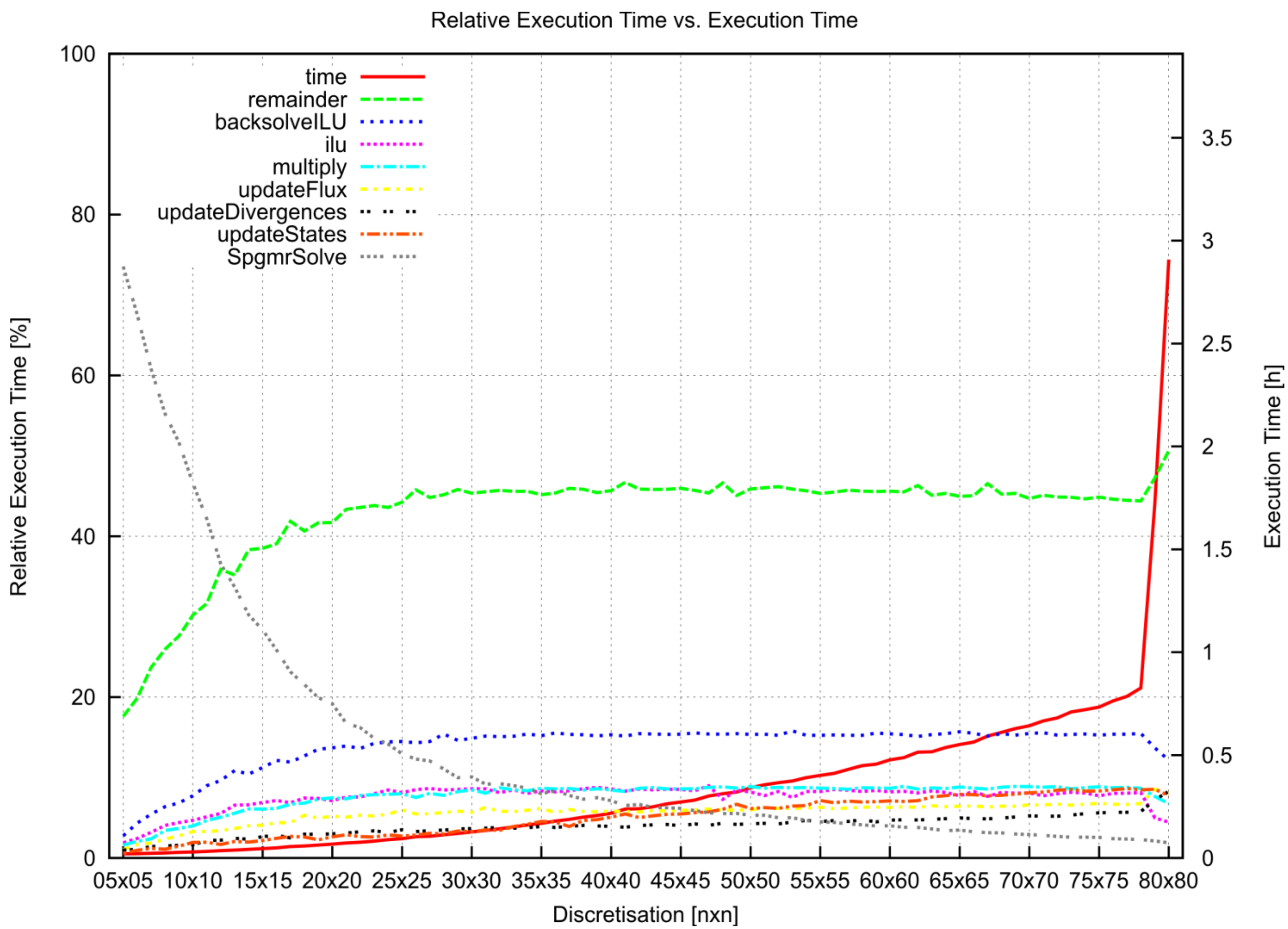
Messungen



Relative Execution Time vs. Execution Time
Time
Remainder
BandGBTRF
BandCopy
BandScale
BandGBTRS
Physics
Relative Execution Time [%]
0
10
20
30
40
50
60
Execution Time [h]
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
5
5.5
6
6.5
7
7.5
8
8.5
9
9.5
10
10.5
11
11.5
12
12.5
13
13.5
14
14.5
15
15.5
16
16.5
17
05x05
10x10
15x15
20x20
25x25
30x30
35x35
40x40
45x45
50x50
55x55
60x60
65x65
70x70
75x75
80x80
Discretisation [nxn]

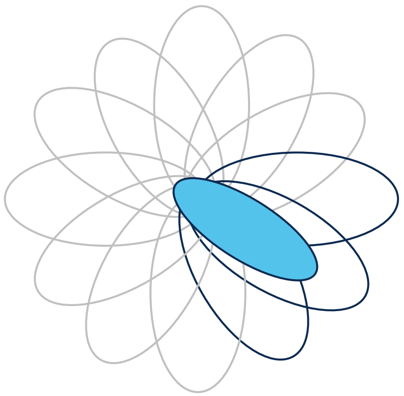
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Messungen



Zusammenfassung und Ausblick

Generische Plattform



Semi-Generische Plattform

Modellierung des Gebäudes auf mehreren Skalen:
Wandkonstruktion, Raum, Gebäude

Semi-Generische Integrationsplattform

Eingegrenzte Problemtypen
⇒ solverseitige Optimierung möglich

Effiziente Physikauswertung,
Vorkonditionierung, Matrixassemblierung

Forschung:
Adaption existierender numerischer Techniken für schwachbesetzte Gleichungssysteme,
Parallelisierung,
Einbindung in gekoppelte Simulationen

Quellen/Bücher

Fischer B. 1996. Polynomial based iteration methods for symmetric linear systems. Wiley-Teubner.

Gear C. W. 1997. Numerical Init Value Problems in Ordinary Differential Equations. Prentice-Hall Inc.

Hindmarsh A. C. et al. 2005. SUNDIALS: Suite of Nonlinear and Differential/Algebraic Equation Solvers. ACM Transactions on Mathematical Software. Vol. 31(3). pp. 363-396.

Langtangen H. P. 2003. Computational Partial Differential Equations. Springer-Verlag. Berlin.

Meister A. 2008. Numerik linearer Gleichungssysteme. Vieweg & Sohn Verlag, Wiesbaden.

Saad Y. 2003. Iterative Methods for Sparse Linear Systems, SIAM Society for Industrial and Applied Mathematics. Philadelphia.

Internetpräsenz

Institutswebseite:

http://tu-dresden.de/ibk

Softwareentwicklung und Programmdownload:

http://bauklimatik-dresden.de/

EnOB – Forschung für Energieoptimiertes Bauen:

http://www.enob.info/