

Zur Entwicklungsorganisation des Simulations- und Servicezentrums für die Kohleindustrie

O. Beljaev, V. Lapko, V. Svjatnyj, O. Cheptsov *)
Fakultät für Rechentechnik und Informatik (FRTI)
Nationale Technische Universität Donezk, Artemstr. 58, 83000, Ukraine

R. Hohmann
Institut für Simulation und Graphik (ISG)
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Universitätsplatz 2, D-39106 Magdeburg

Zusammenfassung

Die Kohleindustrie der Ukraine braucht eine Modellunterstützung für das Lösen der komplexen bergbau- und sicherheitstechnischen Aufgaben. Es wurde das Simulations- und Servicezentrum (SSZ) vorgeschlagen, das den Aufgabenanforderungen entspricht. Im Vortrag werden die Ergebnisse der strukturellen und algorithmischen Organisation sowie der Implementierung der SSZ-Hauptkomponenten betrachtet.

1 Einleitung

Die Kohleindustrie ist vertreten durch Kohlegruben, ihre territorial und bergbautechnisch bedingten Verwaltungssysteme sowie Infrastrukturen, welche die Kohlelieferung, Energieversorgung, Zulieferung von Verbrauchsmaterialien und andere wirtschaftliche Funktionen erfüllen. Die Kohlegruben stellen eine Klasse von komplexen Betrieben dar und umfassen dynamische Objekte wie Grubenbewetterungsnetze (GBN), Transport- und Fördersysteme, Elektroenergiesysteme, Gasabsaug- und Wasserabpumpsysteme, die zunehmende Bedeutung für die Gewährleistung von sicheren und effizienten Arbeitsbedingungen unter Tage haben. In unseren vorherigen Arbeiten wurden die mathematischen Modelle von luft- und gasdynamischen Prozessen hergeleitet, die mit ausreichender Genauigkeit die einzelnen Komponenten und die Grubenbewetterungssysteme insgesamt beschreiben. Modelle für andere obige Objekte sind vorhanden oder werden an der NTU Donezk erarbeitet. Für die systematische Modellanwendung als einer modellgestützten Lösung von Sicherheits-, Automatisierungs- und Verwaltungsproblemen in den ukrainischen Kohlegruben wird im Rahmen der Forschungsk Kooperation von FRTI mit IAS, ISR*) und dem ISG der Universität Magdeburg die Entwicklung des Simulations- und Servicezentrums (SSZ) [1] fortgesetzt. Im Beitrag werden die Fragen der Organisation dieser Entwicklung sowie die erzielten Ergebnisse diskutiert.

2 Anforderungen an das SSZ

Die vorhandene Erfahrung der Modellierung und Simulation von bergbautechnischen

*) O.Cheptsov ist DAAD-Stipendiat am Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik (Prof.Dr.-Ing. P.Göhner), Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 47, 70569 Stuttgart und war Leonhardt-Euler-Stipendiat am Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik (Prof.Dr.-Ing. E.D.Gilles, Prof.Dr.-Ing. M.Zeitz) im Rahmen des Kooperationsvertrags der Universität Stuttgart mit der NTU Donezk

Problemen, eine Analyse des Entwicklungs- und Einsatzstandes der informationstechnischen Unterstützung der Grubenverwaltung sowie der Prozessautomatisierung zeigen, dass das vorgeschlagene SSZ den folgenden Hauptanforderungen genügen soll: Benutzerfreundliche interaktive Vorbereitung der für die zu lösenden Aufgaben relevanten grafischen und numerischen Daten; Integration mit den vorhandenen und entwickelten Grubeninformationssystemen durch eine Dekomposition und Zuordnung der simulationsgestützten Lösungen zu den entsprechenden Ingenieurdiensten und Arbeitsplätzen; eine dem Gegenstand angemessene Darstellung von Simulationsmodellen mit praxisnahen, leicht erlernbaren Simulationsabläufen und deren für den Betrieb hilfreichen Ergebnissen; an der Praxis orientierte Vollständigkeit der Hierarchie von Lösungsalgorithmen und ihre Erweiterbarkeit auf alle Ebenen; die Gewährleistung von realistischen betriebsnahen Vorhersagelösungen; die Realisierbarkeit von Trainingssimulatoren für die Mitarbeitern, die sich mit den sicherheitskritischen Prozessen und Ereignissen beschäftigen; eine Fähigkeit der SSZ-Ressourcen zur rechnergestützten Anpassung an die Bergbaubedingungen von vorgegebenen Gruben; Bereitstellung der parallelen Rechenressourcen für die datenintensiven und zeitkritischen Simulationsabläufe; systemtechnische SSZ-Strukturierung als verteiltes Rechnernetz unter Verwendung von modernen Informationstechnologien.

3 Hierarchie von Modellen, Lösungsalgorithmen und Simulatoren

Die im SSZ zu lösende Bergbauprozessaufgaben werden nach dem Betriebsprinzip in folgende Tätigkeitsrichtungen (TR) aufgeteilt: Sicherheitstechnik und Bewetterung; Technologie der Kohlegewinnung; Energieversorgung; Transport- und Fördersysteme; Entwässerungssysteme; Prozessautomatisierung; Verwaltung; Bergbauökonomie-Verfahren. Jede von diesen Tätigkeitsrichtungen wird auf bergbaubedingten sechs Hierarchieebenen dargestellt: Prozessebene, Betriebsabteilungsebene, Ebene der Abteilungsverbindungen, Grubenebene und zwei Verwaltungsebenen – Kohlevereinigung mit den Sicherheitsbehörden und Ministeriumsdepartment. In Tabelle 1 wird diese Hierarchie dargestellt.

Anhand der modellgestützten Lösungen der sicherheits- und bewetterungstechnischen Aufgaben werden von uns dieser Hierarchie die folgenden luftgasdynamischen Modelle zugeordnet:

11(1). Das **Strebmodell** stellt die mathematische Beschreibung der luft- und gasdynamischen Prozesse, die im Ausgangsluftstrom $Q_s(t)$ des Strebs die Methankonzentration $C_s(t)$ bilden, dar. Ein Streb (St) wird bei der Herleitung von Gleichungen als Objekt mit verteilten Parametern gemäß der Strebortskoordinaten $0 < x < l$, $0 < y < b$, $0 < z < h$ (l , b , h sind die Länge, Breite und Höhe) unter Berücksichtigung der vorhandenen Methanquellen, Luftströme, Strebgeometrie und des Betriebszustandes der installierten Abbautechnik betrachtet.

11(2). Das **Streckenmodell mit verteilten Parametern** unterscheidet zwischen der Ventilations- (VS) und Förderstrecke (FS) sowie zwischen den luft- und gasdynamischen Prozessen, aber die Herleitung der Gleichungen berücksichtigt dieselben physikalisch bedingten Prozesse und ähnliche Parameter: eine Bewegung der Luft mit oder ohne

Luftverluste (für FS) und Luftzuflüsse (für VS) entlang der Strecke, die Kontinuität der Ströme, die Zusammenhänge mit dem aerodynamisch verbundenen „Alten Mann“ und

Tabelle 1: Tabellarische Darstellung der Modellhierarchie

| Tätigkeits- Hierarchie- ebene | Sicherheits- technik und Bewertung | Kohlegewinn- technologie | Energie- versorgung | Transport- und Förder- systeme | Entwäs- serungs- systeme | Prozess- automa- tisierung | Ver- waltung | Bergbau- ökonomie- verfahren |
|---|---|---|---|--|---|--|-----------------|------------------------------------|
| Prozess- ebene | 1. Ort 2. Strecke 3. Alter Mann 4. Ortsent- gasung 5. Luftschleuse | 1. Gewinn-maschinen 2. Festungs- mechanismen 3. Schichten-planung 4. Luftschleuse | 1. Objekte des Energieverbrauchs 2. Objekte der Energielieferung | 1. Transport- einheiten 2. Fließ-bändern 3. Liftförder- technik 4. Fahrstühle | 1. Pumpen 2. Wasser- sammel- anlagen unter Tage 3. Röhre | 1. Messgeräte 2. Lokale Regler 3. Lokale Auto- matisierungs- systeme | | |
| Kohle- gewinn- abteilungen (KGA) | 1. KGA- Bewertungs- schemata 2. KGA-Bewer- tung automa- tisierungssystem 3. Lokale Bewertung 4. Gas-situations- vorhersage | 1. KGA-Gewinn- anlagen 2. KGA-Arbeitspläne 3. Markscheiderdaten für KGA | 1. KGA-Elektro- energieversorgung 2. KGA-Elektro- sicherheit | 1. KGA-Trans- portsysteme 2. KGA-Bunker | 1. KGA- Entwäs- serungs- system | 1. KGA-Auto- matisierungs- subsysteme (Bewertung, Gewinnan- lagen) | | |
| KGA über- greifende Ebene | 1. Q-Mehrfaches Reglersystem 2. Gruppenregler 3. Sechsenregler 4. Vorhersage | 1. Vereinbarung der KGA-Arbeiten 2. Verteilung der Ressourcen für KGA | 1. Verteilungs- system für KGA | 1. Integration der KGA-Transport- systeme | 1. Wasser- sammelnetz und Zwi- schenpumpen | 1. Subsysteme des Gruppen- automatisie- rungssystems 2. TR-Sub- systeme | | |
| Gruben- ebene | 1. Hauptventilatoren mit Reglersysteme 2. Automatisierung- system für Sicherheit und Bewertung | 1. Bergbaugeologie 2. Bergbaumar- kscheiderie 3. Abbaupläne 4. Koordination der Abbauarbeiten mit anderen TR 5. Kohleflöz- vorbereitung | 1. Grubenelektro- energiesystem | 1. Grubenhof unter Tage 2. Transport- system unter Tage 3. Fördersystem 4. Transport- system tagebau 5. Kohleabliefe- rungssystem | 1. Grubenent- wässerungs- system 2. Umwelt- wasser- aufgaben | 1. Gruben- automa- tisierungs- system 2. TR-Sub- systeme | | |
| Kohle- vereinigung | 1. Sicherheits- behörden 2. GBN- Abmessungen, Prüfung des GBN- Zustandes 3. Sicherheits- statistik | 1. Analyse der Technologien | | | | | | |
| Ministerium | 1. Sicherheits- inspektion 2. Sicherheits- statistik | | | | | | | |

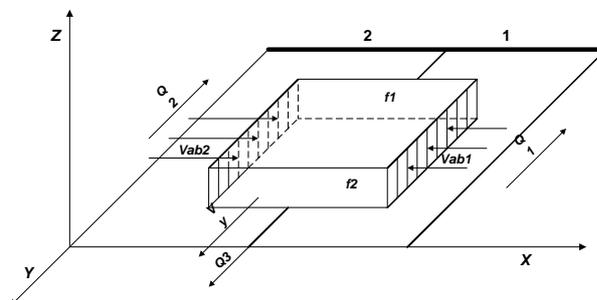
Streb, die FS-, VS-Geometrie, die Randbedingungen, ein örtlich konzentrierter regelbarer Widerstand $RRVS(t)$ des VS-Luftstromreglers. Das Verhalten der Methankonzentrationen $CFS(t)$, $CVS(t)$ ist von Prozessen $QS(t)$, $CS(t)$ im Streb und $QAM(x,z,t)$, $CAM(x,z,t)$ im Alten Mann abhängig.

11(3). **Modell des Alten Mannes.** Einen Raum, der nach der Abbau des Kohleflözes entsteht und in ein Luftfiltrationsmedium umgewandelt wird, nennt man in der Bergbautechnik „Alter Mann“ (AM). Ein dreidimensionales AM-Modell wird mit folgenden Voraussetzungen hergeleitet: Die Luftfiltration entsteht wegen der örtlich verteilten Druckdifferenz zwischen den Strecken und des vorhandenen nichtlinearen aerodynamischen AM-Widerstandes; Methan diffundiert im verteilten AM-Luftstrom aus den definierten Quellen (Randbedingungen), so dass entlang der Ventilationsstrecke ein Luft-Methan-Mischzufluss $QAM(x,z,t)$ mit der Methankonzentration $CAM(x,z,t)$ gemäß der Ortskoordinaten $0 < x < L$, $0 < z < h$ erscheint (L ist eine Streckenlänge, h – die AM-Höhe); der Zufluß $QAM(x,z,t)$ verursacht einen VS-Formierungsprozess des resultierenden Luft-Methan-Mischstroms $QVS(x,z,t)$ mit der Methankonzentration $CVS(x,z,t)$. Die Randbedingungen für luftdynamische AM-Prozesse sind die FS-, St- und VM-Modelle sowie die Druckfunktionen in FS- und VS-Knoten des Bewertungsnetzes.

11(4). Das **Strebtgasungsmodell** beschreibt das Flözfeld als Methanquelle und ein Schema die Zuordnung von Entgasungsbohrungen. Dieses Modell wird von uns zusammen mit dem Institut für Bergbausicherheitstechnik entwickelt.

11(5). Das **Ventilationsschleusenmodell** beschreibt die Anlage, die aus zwei regelbaren oder vordefinierten unveränderlichen aerodynamischen Widerständen besteht und das Bewetterungsnetz vor einem Luftstromkurzschluss schützt. Sein kontinuierlicher Modellteil beinhaltet die Gleichungen des Schleusenluftstroms, der Hin- und Rückbewegung der Tore (Türen) und der als aerodynamischer Widerstand dargestellten Transportbewegung im Bereich der Schleusenwirkung. Diskreter Teil des Modells sind die Schaltungselemente sowie die logischen Bedingungen ihrer Funktion beim Transportdurchlass. Beide Komponenten charakterisieren die Schleusenanlage als ein Automatisierungsobjekt.

21(1). **Modell der Bewetterungsschemata der Kohleabbau-Abteilungen (KGA).** Es wurden die in der Kohleindustrie eingesetzten KGA-Bewetterungsschemata (144 Varianten) analysiert, klassifiziert und zu 6 Varianten typisiert. Ein Modell der KGA-Bewetterungsschemata beinhaltet die Topologiedarstellung von Verbindungen zwischen den Strecken, Streben und Alten Männer sowie die mathematische Beschreibung der aerodynamischen Prozesse in den genannten Abbauten. Es wird das Modell des in Bild 1 gezeigten KGA-Bewetterungsschemas detailliert dargestellt. Als ein Modell der KGA-Ebene beinhaltet es die eng gekoppelten obigen 11(1)...11(3)-Modelle. Die KGA-Topologie (Bild 1) wird als ein Element des Grubenbewetterungsnetzes dargestellt und mit der KGA-Tabelle1 kodiert. Das Luftmodell-Gleichungssystem umfasst die Gleichungen für zwei Förderstrecken, zwei Strebe und zwei Alte Männer, sowie die mit beiden AM verbundenen gesamten Ventilationsstrecken (Bild 1).



$$-\frac{\partial p_i}{\partial \xi} = \frac{2\rho}{F_i^2} Q_i \frac{\partial Q_i}{\partial \xi} + \frac{\rho}{F_i} \frac{\partial Q_i}{\partial t} + r_i Q_i^2 + r'_i Q_i^2 \quad (1)$$

$$-\frac{\partial p_i}{\partial t} = \frac{\rho a^2}{F_i} \frac{\partial Q_i}{\partial \xi} + \frac{\rho a^2}{F_i} q_i \quad (2)$$

$$-\frac{\partial p_3}{\partial y} = -\frac{2\rho}{F_3^2} Q_3 \frac{\partial Q_3}{\partial y} + \frac{\rho}{F_3} \frac{\partial Q_3}{\partial t} + r_3 Q_3^2 + r'_3 Q_3^2 \quad (3)$$

$$-\frac{\partial p_3}{\partial t} = \frac{\rho a^2}{F_3} \frac{\partial Q_3}{\partial y} + \frac{\rho a^2}{F_3} (q_1 + q_2) \quad (4)$$

$$-\nabla p_i = \frac{\rho}{m_i} \frac{\partial v_i}{\partial t} + p \left(\frac{\rho v}{k_i} + \frac{v_i}{l_i} \right) v_i \quad (5)$$

$$-\frac{\partial p_i}{\partial t} = \frac{\rho a^2}{m_i} \nabla v_i \quad (6)$$

Bild 1: Mathematische Beschreibung der luftgasdynamischen Prozesse eines Elementes des Grubenbewetterungsnetzes

Das Gasmodell-Gleichungssystem ist für alle KGA-Typen verwendbar und wird an die Beschreibung der gasdynamischen Prozesse in vorgegebenen Punkten der Strebe und der Ventilationsstrecke angepasst.

21(2). **Modell des Automatisierungssystems (AS) vom KGA-Bewetterungsschemata.** Ein Automatisierungssystem der KGA-Ebene beinhaltet die in den vorgeschriebenen Abbauorten installierten Q- und C-Messgeräte, lokale Digitalregler mit den Informationsverbindungen zur nächsten AS-Ebene und die Anlage des regelbaren aerodynamischen Widerstandes. Alle AS-Komponenten wurden formal beschrieben.

21(3). **Modell der örtlichen Bewetterung.** Die örtliche (im Unterschied zur zentralen) Bewetterung wird mit Hilfe spezieller Ventilatoren und Luftleiter für die Abbauarbeiten in neu gebauten Strecken durchgeführt. Es wurden die Gleichungen hergeleitet, die eine Luftquellenstrecke, ein örtliches Ventilationssystem, die Bewetterung des geschlossenen Arbeitsraums mit den Q- und C-Prozessen vor Ort und den Luftleitern bis zur Verbindung mit der Strecke beschreiben.

21(4). Die **Modellgestützte Vorhersage der Gassituation** wird mit dem Modell 21(1), das durch deterministische Abbauprozess-Modelle sowie stochastische Modelle der Gasstörungen ergänzt wird, durchgeführt.

31(1). Das **Modell des mehrfachen Q-Reglersystems** besteht aus den über das Netzmodell verbundenen Q-Reglermodellen und den Modellen von aero- und gasdynamischen Störungen. Es werden die Gleichungssysteme dieser Modellebene dargestellt.

31(2). Die **Modelle der Gruppenregler** werden mit den Gleichungen der Gruppenstrecke, ihres zugeordneten Gruppenreglers sowie der untergeordneten Q-Regler beschrieben.

31(3). **Modell des Schleusenreglers.** Auf den KGA-übergreifenden Ebenen können regelbare Schleusen installiert werden, die bei der Transportdurchfahrt einen vorgeschriebenen Q-Sollwert automatisch einhalten sollen. Zum oben beschriebenen Schleusenmodell wurde das Modell der abgestimmten Torregler entwickelt, die mit dem Transportdurchgang synchronisiert werden.

Für die Grubenebene 4 wurden die **Modelle** der Hauptventilatoren 41(1), der Grubenbewetterungsnetze (GBN) als Objekte mit konzentrierten 41(2) und verteilten Parametern 41(3), ein unifiziertes Modell des GBN-Automatisierungssystems 41(4), das Modell des GBN-Reversierungssystems 41(5), ein modellgestützter Plan der Havarie-Behebung 41(6) sowie ein Modell des Grubenentgasungssystems 41(7) entwickelt.

Es wurden Trainingssimulatoren 51(1) für die Sicherheitsbehörden-Dienste und modellgestützten Prüfungen des GBN-Zustandes 51(2) vorgeschlagen.

Die oben vorgestellten Modelle wurden in zwei Varianten entwickelt und realisiert - als sequentielle und als parallele Modelle.

4 Informationstechnische Organisation und Entwicklung des SSZ

Es wurde eine Struktur des SSZ vorgeschlagen. Das SSZ soll über eine territorial verteilte und vernetzte Hardware- und Softwareressource verfügen, deren system- und informationstechnische Organisation obigen Anforderungen entspricht. Strukturell basieren die Simulationsressourcen des SSZ auf drei Hardwarekomponenten: den Arbeitsplätzen der SSZ-Benutzer, den Server-Rechnern, den parallelen Rechnern.

Benutzer des SSZ sind die an diesem Projekt beteiligten Gruben, Grubenvereinigungen und die Entwicklungsinstitutionen, deren Arbeitsplätze ans Internet angeschlossen sind. Die Software- und Hardware-Plattformen der SSZ-Benutzer können unterschiedlich sein, was bei der Entwicklung des SSZ durch einen Multiplattform-Ansatz berücksichtigt werden muss. Die Haupt-SSZ-Server werden von den Arbeitsplätzen am IAS und an der FRTI bereitgestellt. Sie unterstützen die Server-Aufgaben vom verteilten System und erfüllen die entstehenden Administrierungsfunktionen.

Strukturell stellt die SSZ-Software eine komplexe verteilte multi-plattformabhängige Web-Anwendung dar. Die rechenaufwendigen datenintensiven Simulationsaufgaben werden in Form von Web-Diensten entworfen, die auf den Höchstleistungsrechen-systemen installiert werden und den Modellentwicklern und Benutzern zur Verfügung stehen.

Bei der Entwicklung des SSZ, der Simulationsmodelle und Simulatoren werden das Vorgehensmodell „Rational Unified Process“, das Werkzeug „NET-Framework“ sowie UML-Notation verwendet. Die algorithmische SSZ-Organisation erfolgt durch den Entwurf der Use Case, Activity, Sequence, Collaboration und Class UML-Diagramme.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Der erste SSZ-Prototyp wurde implementiert und anhand von Beispielen der sicherheitstechnischen modellgestützten Aufgabenlösungen experimentell untersucht. Die weiteren Arbeiten setzen die enge Kooperation mit der Grube „Süddonbass-3“ voraus und konzentrieren sich einerseits auf weitere industrielle Implementierungen, eine modellgestützte Anpassung von Automatisierungssystemen an die Bergbaubedingungen, die praktische Erprobung und den Einsatz der entwickelten Algorithmen, sowie andererseits auf die Einführung der neuen UML-Erfahrungen in das Gebiet der Erarbeitung und Inbetriebnahmen von verteilten Informations- und Simulationsumgebungen.

6 Literatur

- [1] *W. Bär, R. Galasov, V. Lapko, O. Moldovanova, A. Pererva, D. Rasinkov, V.Svjatnyj*: Das Simulations- und Service-Zentrum für automatisierte Grubenbewetterungsnetze. In: Möller [D. P. F.](#) (Hrsg.): Tagungsband 14. ASIM-Symposium Simulationstechnik, Hamburg 2000, SCS Europe BVBA, Ghent/Belgium 2000, S. 223-228