

DAS SIMULATIONS- UND SERVICE-ZENTRUM FÜR AUTOMATISIERTE GRUBENBEWETTERUNGSNETZE

R. Galasov, V. Lapko, O. Moldovanova, A. Pererva, D. Rasinkov, V. Svjatnyj

Technische Universität Donezk, Artemstr. 58, 83000 Donezk, Ukraine
lapko@cs.dgtu.donetsk.ua

W. Bär

Universität Erlangen-Nürnberg, Cauerstr. 7, 91058 Erlangen
wolfgang.baer@rzmail.uni-erlangen.de

Abstract

Galasov R., Lapko V., Moldovanova O., Pererva A., Rasinkov D., Svjatnyj V., Bär W. The simulation and service centre for automated mine ventilation networks. The tasks of the simulation and service centre are defined. The structure of the centre is proposed. The implementation and testing of the centre is described.

1. Die Aufgaben des Simulations- und Service-Zentrums

Die Zielsetzungen, die mit dem SSZ erreicht werden sollen, sind wie folgt:

1. modellgestützte Projektierung von Grubenbewetterungsnetzen einschließlich der zugehörigen Automatisierungsfunktionen;
2. operative Analyse und Prognose der gasdynamischen Situation auf der Basis der Betriebspläne;
3. Modellbegleitung während der Projektierung sowie während der gesamten Lebensdauer bzw. beim Abbau der Kohleflöze.

Im Folgenden sollen die Hauptaufgaben des SSZ im einzelnen betrachtet werden.

1.1. Erstellung der GBN-Schemata entsprechend den Daten der Markscheiderdienste

Die vorliegenden Angaben der Markscheiderdienste weisen bei den ukrainischen Gruben folgende Besonderheiten auf:

- die Daten der Basisabbaufelder und der schon „gelöschten“ Abbaustrecken, die für die gasdynamische Situation nicht unwesentliche Störquellen darstellen, basieren auf z.T. länger zurückliegenden Erfassungen;
- die Rechnerunterstützung für die Markscheiderdienste ist unzureichend;
- die Methoden der Datenarchivierung sind veraltet;
- es gibt Konflikte durch den Einsatz von „alten“ und „neuen“ Informationstechnologien.

Deshalb ist es zunächst erforderlich, - ausgehend von den Messdaten ~ die GBN-Schemata in tabellarischer Form durch die sog. MARKUR-Tabelle zu beschreiben- [1], mit der die Programme zur Berechnung der Abbauparameter arbeiten und die bisher für die 3D- und 2D-

Darstellung der Grubenanlagen verwendet wird. Für die 2D-Darstellung der GBN kann auch AutoCAD eingesetzt werden. Dabei wird eine Codierung der Anfangs- und Endknoten sowie der Zweige der Grubenbewerbetungsnetze benutzt, die für die weitere Behandlung durch den Topologieanalysator erforderlich ist [2].

1.2. Topologieanalyse und Gleichungsgenerierung

Die aufgrund der Markscheiderdaten aufgebauten GBN-Schemata werden nun mit dem „Topologischen Analysator“(TA) bearbeitet [2, 3]. Die TA-Ergebnisse sind:

- der Baum und der Antibaum des GBN-Graphen;
- die Inzidenzmatrix A und die Maschenmatrix S des GBN-Graphen;
- die Strukturbeschreibung des GB-Netzes - (auf der Basis der ursprünglichen Parametertabellen und entsprechend den GBN-Baum- bzw. Antibaumzweigen X bzw. Y) - in Form von Diagonalmatrizen mit den aerodynamischen Parametern K (K_X , K_Y) und R (R_X , R_Y) der einzelnen (Teil)-Abbaustrecken sowie mit den Vektoren für die (beeinflussbaren) Ventilator-Charakteristiken H ($H_X(X)$, $H_Y(Y)$).

Diese topologischen Daten werden von den „Gleichungsgeneratoren“ für die Entwicklung der GBN-Gleichungen benutzt. Die Gleichungsgeneratoren liefern für Objekte mit konzentrierten Parametern (OKP) Systeme von gewöhnlichen Differentialgleichungen (in einer für die numerische Lösung geeigneten Matrix-Vektor-Form [3]) und für Objekte mit verteilten Parametern (OVP) Matrix-Multivektor-Gleichungssysteme, die die ursprünglichen partiellen Differentialgleichungen approximieren und die verschiedenen Arten von Randbedingungen berücksichtigen [4].

Zur Behandlung der gasdynamischen und regelungstechnischen Problemstellungen werden die auf Grund der GBN-Schemata erhaltenen dynamischen Anlagenbeschreibungen durch die vorgesehenen Automatisierungsfunktionalitäten erweitert, insbesondere durch die in den einzelnen Zweigen der Grubenbewerbetungsnetze installierten Regler mit den zugeordneten Stellmöglichkeiten (regelbare Widerstände und Ventilator drücke).

1.3. Gleichungslösung und Visualisierung der Simulationsergebnisse

Die generierten GBN-Gleichungen sind die Grundlage für die Simulation der Luftstromverteilung und des gasdynamischen Verhaltens im gesamten Netz, d.h. in den Streben, Abbaustrecken und Alten Männern. Dazu wurden entsprechende „Gleichungslöser“ vorgesehen und numerische Verfahren für OKP- und OVP-Grubenbewerbetungs-Netz-Elemente realisiert, die von den üblichen Simulationssystemen ausgeführt werden können [1, 2, 3]. Die Visualisierung der Simulationsergebnisse erfolgt - in graphischer oder tabellarischer Form - unter Verwendung von MathCAD.

1.4. Simulation der Luftstromreversierung

Die Luftstromverteilung und insbesondere die Fähigkeit der Luftstromreversierung sind für die Sicherheit der Grubenanlagen von großer Bedeutung. Deshalb verlangt deren Modellierung (und Simulation) auch eine besondere Sorgfalt:

- Die Luftstromgleichungen beschreiben (ohne zusätzliche Ergänzungen) den Normal- und den Reversierbetrieb durch den Ansatz $Z_y = X_j X_j$, $Z_r = Y_j Y_j$ für den Vektor l , der regulierbaren Luftströme.
- Für die Ventilator-Charakteristiken $H_x(X)$, $H_y(Y)$ werden (zeitliche) Reversierpläne entwickelt, die durch zusätzliche Gleichungen beschrieben sind. Dabei können die Ventilatorlasten und die Konstruktion der Reversieranlagen im Modell berücksichtigt werden.
- Es werden spezielle gasdynamische Gleichungen für den Reversierbetrieb des Bewetterungsnetzes hergeleitet, bei denen auch berücksichtigt ist, daß kurzzeitig die Reversierströme von den Methanquellen der Gruben bestimmt sind. Das GBN-Modell besitzt damit eine zeitveränderliche Struktur.
- Wegen des Reversierbetriebes sind struktumschaltende Regler vorgesehen.

1.5. Lösung der Vorhersageaufgaben

Das Ziel der Vorhersage ist es, in regelmäßigen Zeitabständen Prognosen für die gasdynamischen Prozesse bzw. die Verhältnisse in den Streben sowie in den restlichen Arbeitsräumen zu berechnen. Hierzu wird ein stochastisch-deterministisches Verfahren vorgeschlagen, das ein gasdynamisches Modell für einen ausgewählten Teilbereich des Grubensystems verwendet und den vorgesehenen Abbauplan zur Kohlegewinnung sowie die stochastischen Charakteristiken der Hauptmethanquellen berücksichtigt. Im laufenden Betrieb werden die Vorhersagen ständig mit den experimentellen Messdaten verglichen und Analyseoperationen angestoßen.

1.6. Modellgestützte Projektierung und Modellbegleitung während der Inbetriebnahme

Die bisherigen Ausführungen betrafen vorwiegend Aufgaben für bereits realisierte Grubenbewetterungsanlagen. Mit der in [6] entwickelten Methodik zur modellgestützten Projektierung von Automatisierungssystemen lassen sich am SSZ jedoch auch Grubenbewetterungsnetze konzipieren und neue Projekte bereits während der Entwurfsphase durch zielgerichtete Simulationen unterstützen. Dabei führt das SSZ die ingenieurmäßige Anpassung der GBN-Automatisierungssysteme an die konkreten Kohlengruben durch und unterstützt insbesondere deren Inbetriebnahme.

1.7. Schulung der Bergbauingenieure

Die Schulung des Bedienpersonals aber auch der Bergbauingenieure ist für den reibungsfreien Betrieb der Grubenanlagen von größter Wichtigkeit. Hierfür organisiert das SSZ besondere Maßnahmen mit den folgenden Themenschwerpunkten:

- Einführung des Schichtpersonals in die Organisation und Bedienung der Automatisierungseinrichtungen, Simulation von Havariesituationen und Rettungsmaßnahmen.
- Modellgestützte Erstellung von Sicherheitskonzepten und Plänen zur Havarievorbeugung und -beseitigung.
- ® Methodik der modellgestützten Berechnung und Analyse der Luftverteilung.
- Theorie gasdynamischer Prozesse und mathematische Modelle für die Bewetterung von Abbaustrecken sowie für Bewetterungsnetze.

1.8. Sicherheitsanalyse und Zusammenarbeit mit den Behörden

Zur Sicherheitsanalyse und -bewertung ist eine Simulationsumgebung vorbereitet, die auf qualitative Modelle für besonders sicherheitskritische Objekte, GBN-Elemente und Abbaustrecken basiert und eine schnelle Gefahrenanalyse ermöglicht [7, 8]. Die hier anstehenden Fragen werden in enger Kooperation mit dem Bergbaurettungswesen (Donezk), den zuständigen Abteilungen der Grubengesellschaften und dem Institut für Sicherheit in der Kohleindustrie (in der Stadt Makeevka) bearbeitet.

2. **Der Aufbau des SSZ und die Simulationsressourcen**

Das SSZ verfügt über einen MIMD-Rechner Intel Paragon, einen SIMD-Simulator und ein PC-Cluster mit PC-Arbeitsplätzen im SSZ-Raum sowie Terminals vor Ort bei den am Projekt beteiligten Gruben und Instituten. Im SSZ sind - zur Erledigung der übergeordneten Aufgaben - konzentriert:

- die problemorientierte, parallele Simulationsumgebung mit den SIMD- und MIMD-Komponenten [1,5], in die Topologieanalysator, Gleichungsgenerator sowie Gleichungslöser integriert sind;
- Simulations-PC für die Lösung von Simulink-Modellen sowie für Berechnungen mit Hilfe von MATLAB-Toolboxen;
Sämtliche Modelle werden zunächst in der Simulink-Umgebung entwickelt; es wird dann geprüft, inwieweit parallele Strategien sinnvoll und möglich sind.
- ein SQMA-Simulator für qualitative Simulationen und für die Sicherheitsanalyse;
- Desweiteren besteht die Möglichkeit, im SSZ Hardware-in-the-Loop-Untersuchungen mit vorhandenen Komponenten von GBN-Automatisierungssystemen durchzuführen.

3. **Die Datenverwaltung**

Die GBN-Daten, auf die die Simulationsmodule zugreifen, basieren auf den Markscheidermessungen, mit denen die Lagerungs- und Abbauverhältnisse in den einzelnen

Gruben beschrieben sind. Sie sind in der GBN-Datenbank abgelegt und bilden die Grundlage für die Entwicklung der Luftstromverteilungsschemata. Im einzelnen erhält das SSZ von den Gruben die folgenden Daten:

- allgemeine Charakteristiken der Grube;
- Daten der Haupt- und (Abbau)Ortventilatoren;
- Koordinaten der Abbaustrecken (von den Markscheiderdiensten);
- aerodynamische und gasdynamische Parameter, die sich aus den Messungen an den Abbauorten, den Ventilatorstrecken und den Alten Männer berechnen lassen;
- Einsatzorte der Luftstromregler und die Charakteristiken der Reglerorgane;
- aktuelle Ergebnisse aus den Depressionsmessungen.

Die SSZ-Datenverwaltung verwendet eine Client-Server-Architektur. Zur Zeit haben die ukrainischen Kohlengruben entweder eigene lokale Rechnernetze oder spezielle, problemorientierte Arbeitsplätze. Das SSZ installiert z.Z. einen SQL-Server, um mit den lokalen und den externen Anwendern (Gruben) kommunizieren zu können.

4. Implementierung und experimentelle Untersuchungen

Die SSZ-Hauptkomponenten wurden auf den genannten Rechnerressourcen implementiert und anhand eines Modell-Grubenbewetterungsnetzes mit $m=117$ Zweigen und $n=61$ Knoten aufgabengemäß untersucht. Dabei wurden zwei Arten von GBN-Modellen realisiert: GBN als Objekte mit konzentrierten Parametern und GBN als Objekte mit verteilten Parametern. Die zuerst genannten Modelle werden für die Berechnung der Luftstromverteilung benutzt, während letztere der modellgestützten Projektierung von Automatisierungssystemen dienen. Beide Modellsysteme sind sequentiell und parallel implementiert. Es wurde weiterhin der Prototyp eines Automatisierungssystems entwickelt und, um die Inbetriebnahme-Methodik zu testen, exemplarisch auf die Gegebenheiten des Modell-Grubenbewetterungsnetzes angepaßt. Die gegenwärtigen Untersuchungen beschäftigen sich mit Überlegungen zur qualitativen Modellierung und Simulation der sicherheitskritischen Objekte der Grubenbewetterungsnetze. Desweiteren wird in Zusammenarbeit mit Experten der Grubensicherheitsdienste eine bedienerfreundliche Methodik zur Nutzung der SSZ-Möglichkeiten entwickelt und erprobt.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Das vorgestellte Simulations- und Service-Zentrum für Grubenbewetterungsnetze hat das Ziel, die Möglichkeiten der Simulationstechnik zur Erhöhung der Sicherheit unter Tage zu nutzen. Hierzu werden die luft- und gasdynamischen Prozesse in den Grubenbewetterungsnetzen modelliert und durch sequentielle und parallele Techniken simuliert; für die Modellvalidierung werden reale Meßdaten verwendet. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, daß die ursprünglichen Zielsetzungen, insbesondere die Modellbegleitung beim Entwurf der Automatisierungssysteme sowie die Schulung des Bedienpersonals, erreicht werden. Teile der SSZ-Ausrüstung (2 PCs, MATLAB/Simulink- und ACSL-Lizenzen) wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

unter dem Förderkennzeichen 01 IR 704 8 gefördert. Die weiteren Entwicklungen werden von der Technischen Universität Donezk in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Regelungstechnik der Universität Erlangen-Nürnberg und dem Institut für Simulation und Graphik der Universität Magdeburg durchgeführt.

Literatur

- [1] Galasov,R.A., Lapko,V.V., Pererva,A.A., Rasinkov,D.S., Svjatnyj,V.A. : *Parallele Simulation von industriellen Grubenbewerternetzen*. Tagungsband 13.Symposium Simulationstechnik ASIM '99 in Weimar, 343-348.
- [2] Pererva, A.A.: *Topologischer Analysator des parallelen Netzobjektmodells*. Informatics, Cybernetics and Computer Science (ICCS-99). Collected Volume of Scientific Papers. Donetsk State Technical University. Donetsk, 1999, 73-78 (in Russisch).
- [3] Pererva, A.A.: *Gleichungsgenerator und Gleichungslöser der problemorientierten parallelen Simulationsumgebung für Netzobjekte mit konzentrierten Parametern*. *Problems of Simulation and Computer Aided Design of Dynamic Systems*. Collected Volume of Scientific Papers. Donetsk State Technical University. Donetsk, 1999, 164-169 (in Russisch).
- [4] Svjatnyj, V.A., Moldovanova, O.V.: *Gleichungsgenerator des parallelen Modells von Netzobjekten mit verteilten Parametern*. *Problems of Simulation and Computer Aided Design of Dynamic Systems*. Collected Volume of Scientific Papers. Donetsk State Technical University. Donetsk, 1999, 135-141 (in Russisch).
- [5] Svjatnyj, V.A., Rasinkov, V.V., Bräunl, T., Reuter, A., Zeitz, M.: *Problemorientierte massiv parallele Simulationsumgebung für dynamische Netzobjekte*. Tagungsband 10.Symposium Simulationstechnik ASIM '96 in Dresden, 515-518.
- [6] Bär, W., Feldmann, L.P., Lapko, V.V., Moldovanov, A.V., Svjatnyj, V.A.: *Modellgestützte Projektierung von Automatisierungssystemen*. Schlußbericht zum Vorhaben PROAUT. Donezk-Erlangen, 1999.
- [7] Biegert, U.: *Gefahrenanalyse auf der Basis von qualitativen Modellen*. Dechema-Tätigkeitsbericht, IAS, Universität Stuttgart, 1998.
- [8] Rasinkov, D.S.: *Erstellung der qualitativen Modelle für sicherheitskritischen Objekte: statische und dynamische Analyse*. *Problems of Simulation and Computer Aided Design of Dynamic Systems*. Collected Volume of Scientific Papers. Donetsk State Technical University. Donetsk, 1999, 155-163 (in Russisch).