

JUŻ WKRÓTCE POJAWI SIĘ W KOMPUTERZE NURKOWYM BLISKO CIEBIE

To już dwadzieścia pięć lat, odkąd w ogólnym użyciu pojawiły się komputery nurkowe. W okresie tym wiele się zmieniło, szczególnie w nauce i technice. Pomimo tego, komputery nurkowe, w swojej istocie, pozostały zasadniczo niezmienione.

Prawda, obecnie obsługują one nitrox i trimix i zostały dodane rozmaite „wodotryski”, lecz algorytmy będące podstawą wszystkich sprzedawanych dzisiaj komputerów nurkowych nadal są oparte na modelu Haldana, niezależnych równoległych przedziałów, modelu, który istnieje bez mała sto lat. (Powiecie „Niemożliwe!”. „Co z modelami pęcherzykowymi?” Wyluzujcie, dostaniemy się do nich.)

Nie byłoby to problemem, gdyby model Haldana działał naprawdę dobrze. Przecież rekiny przetrwały zasadniczo niezmienione przez całe wieki i są uznawane, nie jako przestarzały, lecz niemal doskonały wzór dla ich funkcji i przeżycia.

Model Haldana ani trochę nie znajduje się w tej samej lidze. Jego zasadniczą atrakcyjnością była względna prostota. Zawsze pojawiały się dookoła sugestie dla bardziej realistycznych, wzajemnie połączonych modeli i istniały w pewnym czasie przy narodzeniu się komputera nurkowego. Lecz wczesne komputery nurkowe były w stanie zaimplementować model Haldana; bardziej złożony model byłby zbyt wielki dla ich pamięci i możliwości mikroprocesora.

Obecnie, oczywiście, żyjemy w zupełnie innej erze, jeżeli chodzi o moc przetwarzania i pamięć. A niezależne równoległe przedziały po prostu nie wytrzymują dokładnej analizy. Kilka medycznych i fizjologicznych badań sprawdziło prędkości, z którymi rozmaite substancje, włączając gazy są rozprowadzane i wypłukiwane z tkanek naszych ciał. Ogólny wniosek? Wyniki nie są spójne z modelem Haldana, gdzie przedziały były odizolowane od siebie, lecz wskazały, że prawdopodobnie zaangażowana była konfiguracja bardziej połączonych ze sobą przedziałów.

Oto „przodownik” nowego modelu połączonych przedziałów, ten, który najprawdopodobniej będzie stanowił część naszej nurkowej przyszłości¹: Saul’s ICM.

[Rysunek 1](#) ilustruje podstawy, po lewej, modelu Haldana oraz, po prawej, Saul’s ICM. Strzałki pokazują, którędy gazy mogą wnikać i opuszczać przedziały, więc na rysunku można ujrzeć różnice w połączeniach w obu modelach. Nieco mniej oczywiste jest, co reprezentują przedziały w różnych modelach. Każdy przedział w modelu Haldana reprezentuje tkankę, która może ulec chorobie dekompresyjnej. (Oto, dlaczego wszystkie jej przedziały są czerwone – ze względu na niebezpieczeństwo). Tkanki, które nie ucierpią urazu dekompresyjnego, nie odgrywają żadnej roli w prostym modelu Haldana.

Chociaż zagrożenia ze wszystkich trzech przedziałów w modelu Haldana są ujęte w obliczaniu zagrożenia dekompresji, w praktyce, zagrożenie dla dowolnego konkretnego nurkowania jest w większości wywodzone z zagrożenia tylko jednego przedziału („przedziału kontrolującego”), z bardzo niewielkim udziałem pozostałych przedziałów. Z drugiej strony, w modelu Saul’s ICM, tylko centralny „niosący zagrożenie” przedział (czerwony) reprezentuje tkankę z zagrożeniem urazem dekompresyjnym; pozostałe przedziały (zielone) reprezentują tkanki „nieaktywne” (takie jak tkanka tłuszczowa), gdzie uraz dekompresyjny nie występuje. Zamiast tego, ich rolą w modelu jest funkcjonowanie w roli pojemników i zbiorników dla nadmiaru gazu. Początkowo, podczas sprężania, tkanki te działają jak zbiornik nadmiarowy, zwiększając ilość gazu, który może być wchłonięty bez powodowania szkody.

Lecz w miarę kontynuowania nurkowania, wchłaniane jest coraz więcej gazu; pamiętajmy, że nadejdzie czas zwrotu. Nurkowanie się kończy, a ty zaczynasz swoje wynurzanie. „Nadmiar” gazu nie zniknął. Podczas dekompresji, przedział niosący zagrożenie musi wyeliminować nie tylko gaz znajdujący się w nim, lecz, dodatkowo gaz zwracany, powracający obecnie z innych przedziałów. (To, przy okazji, zwiększa wagę powolnego wynurzania się i przystanków bezpieczeństwa.) Oczywiście, w nurkowaniach bardzo niskiego ryzyka, podczas kompresji stosunkowo niewiele gazu będzie wchłonięte, skutkując jego niskim stężeniem w przedziale niosącym zagrożenie oraz w pozostałych przedziałach.

Przy niskim stężeniu gazu w tych zbiornikach, zwrot podczas dekompresji jest bardzo powolny, ponieważ przedział niosący zagrożenie w tym samym czasie odgazowuje swoje własne niskie stężenie, zagrożenie DCS jest mniejsze, niż byłoby ono w innym wypadku. Wszystko to ma pewien intuicyjny sens, gdy myślisz o tym, jak organizm funkcjonuje jako całość. Lecz intuicja ma ograniczoną użyteczność. Prawdziwym testem jest to, jak dobrze funkcjonuje sam model. A staje się jasne, że model ten jest daleko lepszy od istniejących modeli w przewidywaniu prawdopodobieństwa zespołu zaburzeń dekompresyjnych.

Co dokładnie mam przez to na myśli? Oczywiście, modele nie mają zdolności psychicznych. Oto jak działa porównanie. W praktyce, modele są reprezentowane przez układy równań. W swoim sednie, równanie jest po prostu sekwencją operacji matematycznych przeprowadzanych z użyciem liczb w jeden z dwóch sposobów: jako zmiennych lub jako stałych.

W modelach nurkowania, zmienne mogłyby generalnie reprezentować rzeczy takie jak czas, głębokość, czy nurkowanie skutkowało (czy też nie) „kesonówką”, zasadniczo rzeczy, które zmieniają się z danymi.

Stałymi są liczby, które stanowią część samego równania—liczby, które pozostają stałe bez względu na to, jakie dane wprowadzasz. Zanim możesz użyć modelu - który zaczyna się, zasadniczo, jako ramy teoretyczne - musisz go wyregulować, aby dopasować do próbki rzeczywistych danych typu, który masz nadzieję przewidzieć. Nazywane jest to „kalibracją”. Podczas procesu kalibracji modelu na przykładowym zestawie danych, rzeczy stają się nieco dziwne: zmienne w rzeczywistości pozostają stałe (ponieważ przykładowe dane nie ulegają zmianie), podczas gdy zmieniają się stałe (ponieważ wypróbujesz różne wartości swoich stałych, aby zobaczyć, które przyniosą twoje przewidywania najbliższe do przykładowych danych).

Gdy zostały określone najlepsze wartości dla stałych, model może być przekształcony w funkcjonujący algorytm. Jedną z miar możliwości prognozowania - najbardziej elementarną - byłoby, jak dobrze model pasuje do rzeczywistych danych, których użyłeś do jego kalibracji.

Lecz, w pewnym sensie, jest to najmniej ważna miara. Nosi ona pewne podobieństwo do przepowiadania przeszłości. Wiesz już co się wydarzyło i konstruujesz swój model w taki sposób, żeby zgadzał się on z tym, co się wydarzyło.

Nadal, posiada to pewną wartość - jeżeli zaniechasz tego testu, twój model jest załatwiony - lecz nie jest niczym więcej, niż punktem startowym. Następnym krokiem jest sprawdzenie, jak dobrze model działa na innym zestawie danych, lecz jest to nadal podobne do kalibracji zestawu danych. Obecnie już nie przewidujesz przeszłości. Jeżeli przeszedłeś ten test, twoja teoria posiada pewną spójność, chociaż w ograniczonym zakresie. Większość modeli, które zaspokoją pierwszą miarę, spełnią również tę drugą. Lecz

dla zmierzenia rzeczywistej siły modelu, potrzebujesz sprawdzić jak dobrze on działa w przewidywaniu zagrożenia dla zestawu profili, który nie mieści się zupełnie w zakresie zagrożeń reprezentowanych przez profile kalibracji.

A więc, jak dobrze ma się model wykalibrowany z użyciem danych z nurkowania o umiarkowanym zagrożeniu, gdy zastosujemy kompletnie inny zestaw nurkowań, gdzie ryzyko choroby dekompresyjnej jest znacznie wyższe? Przejdźmy do przypadku ekstremalnego. Badacze marynarki USA przyglądali się ilościom choroby dekompresyjnej przy nurkowaniach nasyconych, w zakresie rzeczywistych przypadków z rodzaju „nawet nie myślcie o tym, aby robić to w domu”. Czynili to w ramach próby określenia zagrożeń bezpośrednio związanych z wynurzeniami z uszkodzonych łodzi podwodnych.

Ponieważ oczekiwany jest bardzo wysoki poziom zagrożenia, używali oni głównie szczurów i świń, lecz byli w stanie obliczyć, jak ich wyniki na zwierzętach mogłyby stosować się w odniesieniu do ludzi. Materia pokazała oczekiwane zagrożenie chorobą dekompresyjną dla każdego z trzech profili: wszystkie były bezpośrednimi wynurzeniami z nasycenia na powietrze z 10, 12 lub 15 metrów słupa wody. Zobaczmy, jak różne modele, każdy

skalibrowany na danych nurkowania o niższym zagrożeniu, sprawdziły się w przewidywaniu wyników uzyskanych w tym eksperymencie. Wykres pokazuje pewne raczej uderzające różnice. Modelami, które porównywaliśmy były: typowy model Haldane'a; LE1, Saul's ICM, oraz Saul's ICBM (pęcherzykowa wersja Saul's ICM).

LE1 oznacza dodanie wpływu pęcherzyków do czegoś, co w przeciwnym razie jest modelem Haldane'a. Patrząc na wykres, widzimy, że modele Saul's ICM i ICBM plasują się w jednej linii z rzeczywistymi wynikami (które wzrastają gwałtownie z głębokością nasycenia), podczas gdy oba modele Haldane'a (bazujący na pęcherzykach i nie) utrzymują w przybliżeniu prostoliniową trajektorię, która bardzo poważnie niedocenia zagrożenia przy większych głębokościach. Dodanie pęcherzyków do obu modeli (wzajemnie połączonych i niezależnych przedziałów) tworzy stosunkowo mniejszą zmianę w przewidywaniach, podczas gdy wpływ zmiany ze struktury niezależnych do wzajemnie połączonych przedziałów jest ogromny.

A co z porównaniem modeli w przeciwnym kierunku, bardzo niskiego zagrożenia, bardziej typowym dla pospolitego nurkowania rekreacyjnego? Gdy sprawdziliśmy ilość incydentów dla około 10000 profili nurkowania z powietrzem (z zestawu danych projektu DAN Project Dive Exploration [PDE]), przewidywania modeli wzajemnie połączonych okazały się bliższe rzeczywistej ilości przypadków, które miały miejsce. Nurkowania te tylko w 10 przypadkach skutkowały chorobą dekompresyjną.

Tworząc pewne bazujące na tym statystyki, model przewidujący 5 do 18 przypadków byłby sensownie trafny. Model LE1 przewidziałby 51 przypadków; prosty model Haldane'a przewidziałby 126 przypadków, model ICM – 10, a ICBM – 15 przypadków. Ponownie, modele z wzajemnymi połączeniami przewyższają pozostałe. Są więc one bardziej dokładne przy bardzo wysokim zagrożeniu oraz przy nurkowaniach o bardzo niskim zagrożeniu.

Jeżeli patrzysz jedynie na wyniki niskiego zagrożenia, mógłbyś mieć skłonność do ziewania i dziwić się dlaczego powinieneś uważać. Istniejące modele przewidują większą ilość trafień – wspaniale. Czy nie oznacza to, że są one bardziej konserwatywne, niż modele wzajemnie połączone? I czy nie jest to zasadniczo dobrą rzeczą, że wydają się być bezpiecznymi? Odpowiedzi brzmią, odpowiednio: „Nie” oraz „To zależy”.

Pamiętasz porównania przy bardzo wysokim zagrożeniu, na które patrzyliśmy wcześniej? Istniejące modele

wysoce niedoceniają tam zagrożenia. Oznacza to, że nie są one bezpieczne dla tych profili wysokiego ryzyka. Samo w sobie nie oznacza to zbyt wiele, ponieważ w żadnym razie nie chciałbyś nurkować z tymi profilami.

Bardziej kłopotliwe jest to, że ich przepowiednie nie podążają prawidłowym wzorcem. Czyni to prawdopodobnym, że ich prognozy również poważnie niedoceniają zagrożenia w profilach mniejszego i umiarkowanego zagrożenia, które mógłbyś uwzględnić nurkując. Czy bardziej konserwatywny model (który, jak widzieliśmy, niekoniecznie opisuje bieżące modele) jest dobrą rzeczą? Możliwe, pod warunkiem, że jest dokładny. Względny poziom zagrożenia na jakie jest przygotowany nurek jest decyzją osobistą. Lecz bez dokładnej informacji, nie znajdujesz się na pozycji właściwej do oceny prawdziwego poziomu zagrożenia.

Bez względu na to, czy chcesz najbezpieczniejszej opcji, czy życzysz sobie tolerować nieco wyższe zagrożenia, klucz do uzyskania tego, co pragniesz leży w dokładności. Modele Saul's mogą, jak widzieliśmy, zapewnić dużo większą dokładność. (Oczywiście, artykuł ten mógł dostarczyć jedynie krótki przegląd modeli i badań nad nimi. Aby uzyskać pełniejszy obraz i pobrać najnowsze opublikowane artykuły, sprawdź stronę internetową autora.) Oczekuję, że modele Saul's pojawią się w komputerach nurkowych w stosunkowo bliskiej przyszłości i że w końcu staną się one nowym standardem dla nurkowania. W międzyczasie, twoją najlepszą strategią jest kontynuacja nurkowania zgodnie z posiadanym komputerem nurkowym, lecz bądź świadomy jego ograniczeń.

Jeżeli wydaje się on być w konflikcie z tym, co możesz pamiętać z tabel nurkowania lub z lekcji, skorzystaj z opcji bezpieczniejszej. A ponad wszystko, nigdy nie lekceważ swoich przystanków bezpieczeństwa.

Figure 1



ABOUT THE AUTHORS

Saul Goldman, a physical chemist, is Professor Emeritus at the University of Guelph and has published about 100 papers in some of the most prestigious journals in the field (see <http://www.chemistry.uoguelph.ca/goldman/>). Much of his research has dealt with liquids and solutions, particularly gases in liquids. He is also an avid diver who has logged almost 1000 dives. Since, like many physical chemists, he is somewhat "addicted" to equations, **Ethel Goldman** became involved to keep the material suitable for casual reading by nonphysical chemists and, in particular, to rigorously weed out equations and scientific jargon. When Saul insisted that equations were necessary, at least for background, Ethel "relented" but the only place you'll find them is as background - literally.