Spolufinancováno Evropskou unií

Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy

Kvantová optimalizace vnitřního propojení rozsáhlé komunitní energetické sítě

Jiří Tomčala

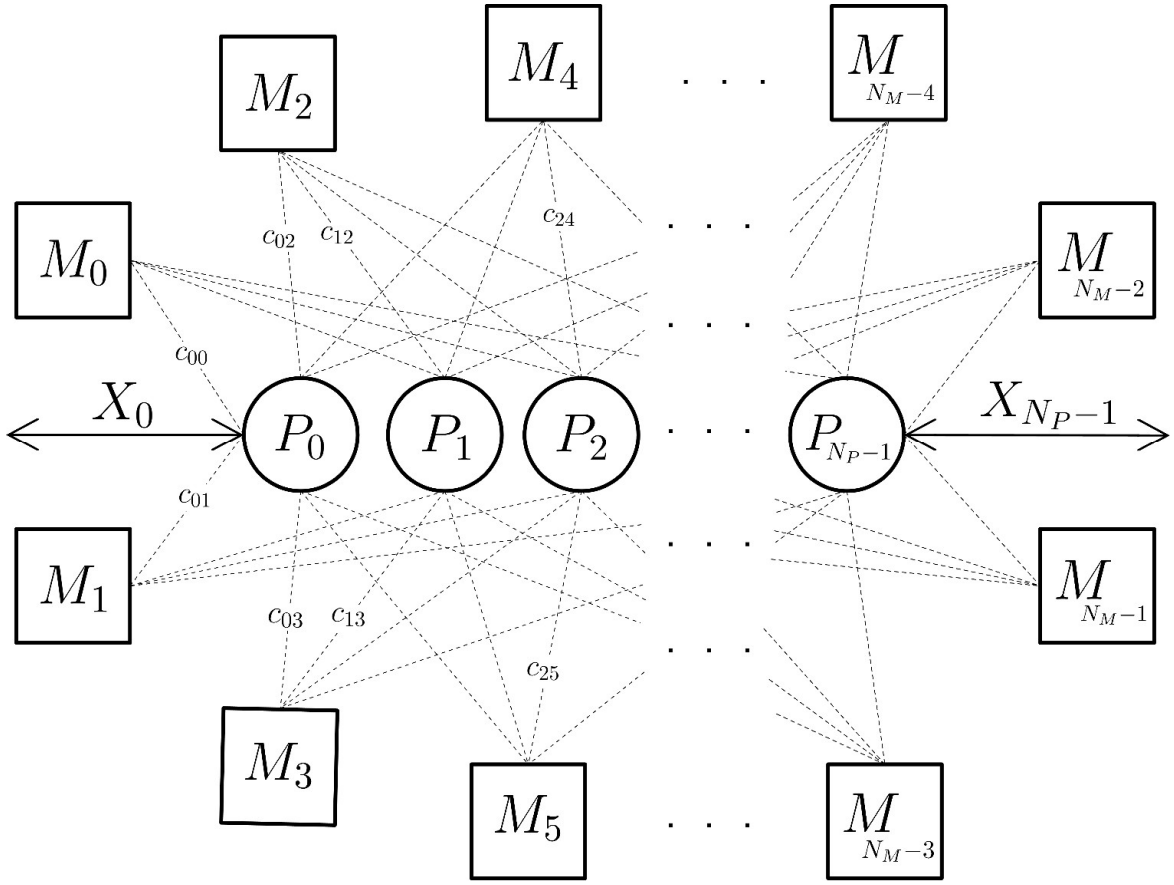
Workshop
Aplikace umělé inteligence a kvantového počítání v energetice II

projekt „Zvýšení odolnosti energetických sítí v kontextu dekarbonizace, decentralizace a udržitelného socioekonomického rozvoje“
CZ.02.01.01/00/23_021/0008759
OPERAČNÍ PROGRAM JAN AMOS KOMENSKÝ

26. 10. 2026



OBECNÉ SCHÉMA ROZSÁHLÉ KOMUNITNÍ SÍTĚ



OBECNÉ MATEMATICKÉ VYJÁDŘENÍ OPTIMALIZACE

Aby bylo dosaženo co největší míry nezávislosti komunitní sítě, je zapotřebí najít argument **c*** minima cenové funkce f_c :

$$\mathbf{c}^* = \arg\min f_c(\mathbf{c})$$

$$f_c(\mathbf{c}) = \sum_{i=0}^{N_P-1} X_i^2(\mathbf{c})$$

Každý přetok/přítok do/z veřejné distribuční sítě se dá vyjádřit jako X_i :

$$X_i(\mathbf{c}) = P_i - \sum_{j=0}^{N_M-1} M_j c_{ij}$$

Pak se cenová funkce dá vyjádřit jako:

$$f_c(\mathbf{c}) = \sum_{i=0}^{N_P-1} \left(P_i - \sum_{j=0}^{N_M-1} M_j c_{ij} \right)^2$$



OBECNÉ MATEMATICKÉ VYJÁDŘENÍ OPTIMALIZACE

Poněvadž c_{ij} jsou binární proměnné, platí: $\forall i, j : \quad c_{ij}^2 = c_{ij}$

Takže výraz $f_c(\mathbf{c}) = \sum_{i=0}^{N_P-1} \left(P_i - \sum_{j=0}^{N_M-1} M_j c_{ij} \right)^2$ z předchozího slajdu se dá vyjádřit jako:

$$f_c(\mathbf{c}) = \sum_{i=0}^{N_P-1} P_i^2 + \sum_{i=0}^{N_P-1} \sum_{j=0}^{N_M-1} M_j(M_j - 2P_i)c_{ij} + \sum_{i=0}^{N_P-1} \sum_{j=0}^{N_M-1} \sum_{k=0,k\neq j}^{N_M-1} M_j M_k c_{ij} c_{ik}$$

OBECNÉ MATEMATICKÉ VYJÁDŘENÍ OPTIMALIZACE

Ovšem každý spotřebitel může být napájen pouze z jednoho zdroje, což lze vyjádřit touto soustavou nerovnic:

$$\sum_{i=0}^{N_P-1} c_{ij} \leq 1 \qquad j = \{0, 1, \ldots, N_M\}$$

Čímž vznikla formulace binárního optimalizační problému s omezením, kterou je ale pro QAOA zapotřebí převést na formulaci binárního optimalizační problému bez omezení (QUBO).

To se dá provést přidáním tohoto výrazu do cenové funkce f_c, který tzv. *penalizuje* porušení výše uvedených omezení:

$$\sum_{j=0}^{N_M-1} \sum_{i=0}^{N_P-1} \sum_{k=0,k\neq i}^{i} c_{ij} c_{kj} \;=\; 0$$

Takže výsledný výraz formulace QUBO, jehož minimum bude hledáno je celkově:

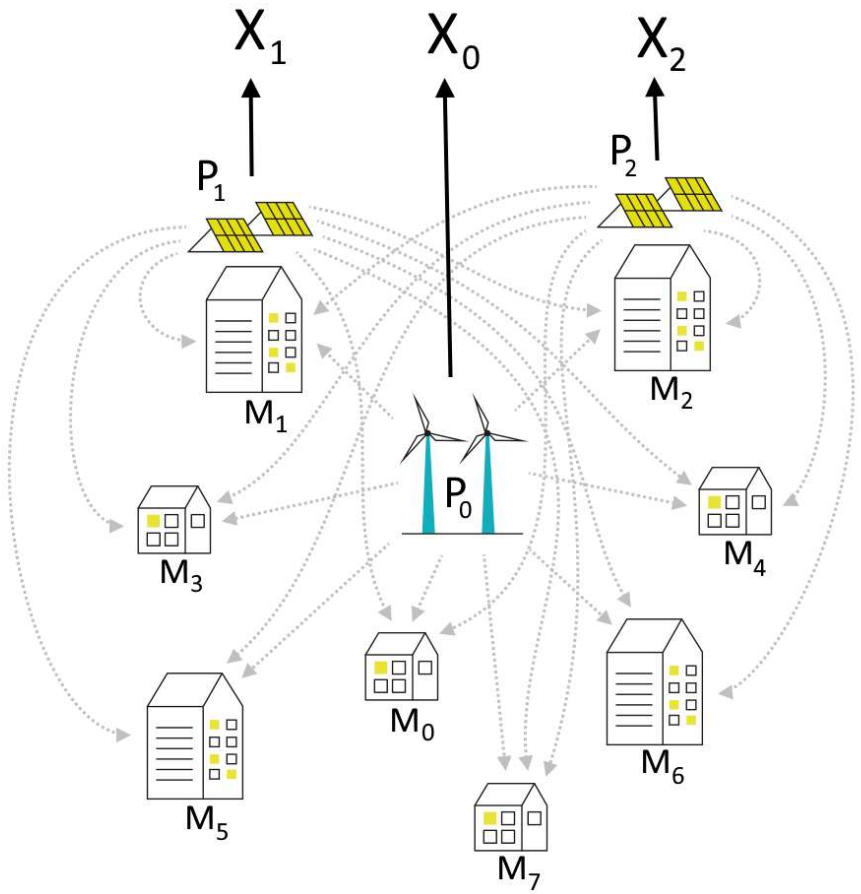
$$\sum_{i=0}^{N_P-1} P_i^2 + \sum_{i=0}^{N_P-1} \sum_{j=0}^{N_M-1} M_j(M_j - 2P_i) c_{ij} + \sum_{i=0}^{N_P-1} \sum_{j=0}^{N_M-1} \sum_{k=0,k\neq j}^{N_M-1} M_j M_k c_{ij} c_{ik} + p \sum_{j=0}^{N_M-1} \sum_{i=0}^{N_P-1} \sum_{k=0,k\neq i}^{i} c_{ij} c_{kj}$$

KONKRÉTNÍ PŘÍKLAD

$P_0 = 10$

$P_1 = 10$

$P_2 = 10$



$M_0 = 1$

$M_1 = 5$

$M_2 = 6$

$M_3 = 3$

$M_4 = 2$

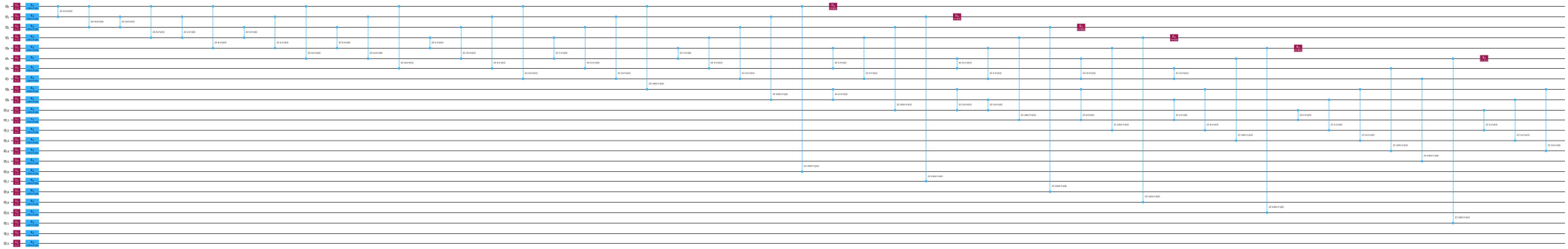
$M_5 = 7$

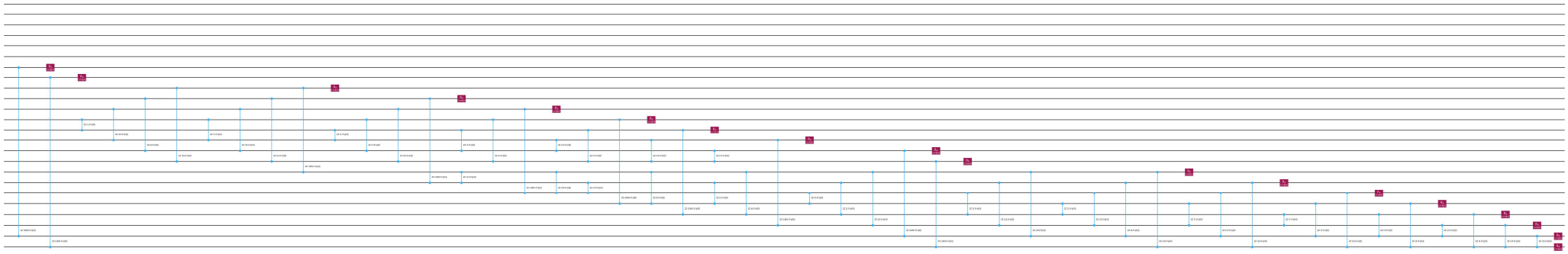
$M_6 = 5$

$M_7 = 1$

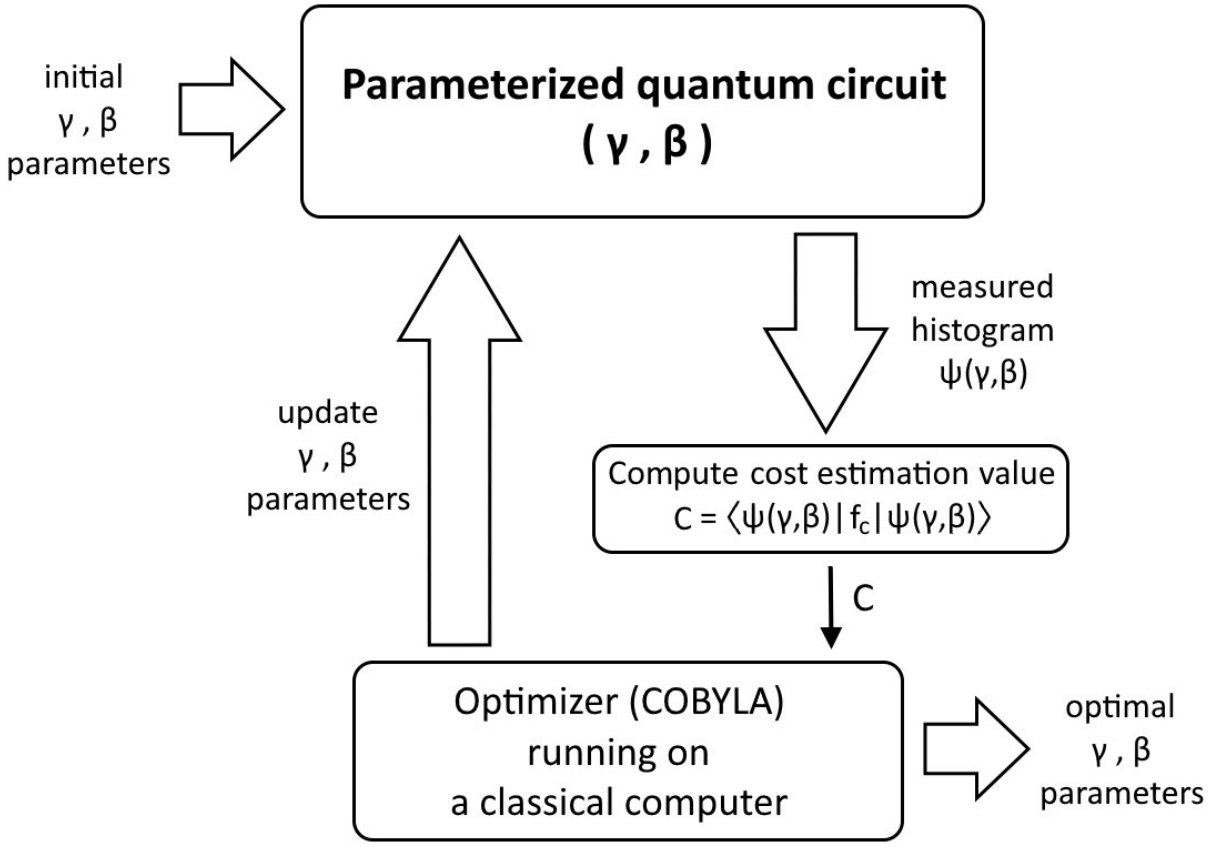
KONKRÉTNÍ PŘÍKLAD

Parametrický kvantový obvod (PQC) vyjadřující QUBO formulaci tohoto konkrétního optimalizačního problému, který byl použit pro nalezení optimálního řešení pomocí QAOA iterací





KONKRÉTNÍ PŘÍKLAD



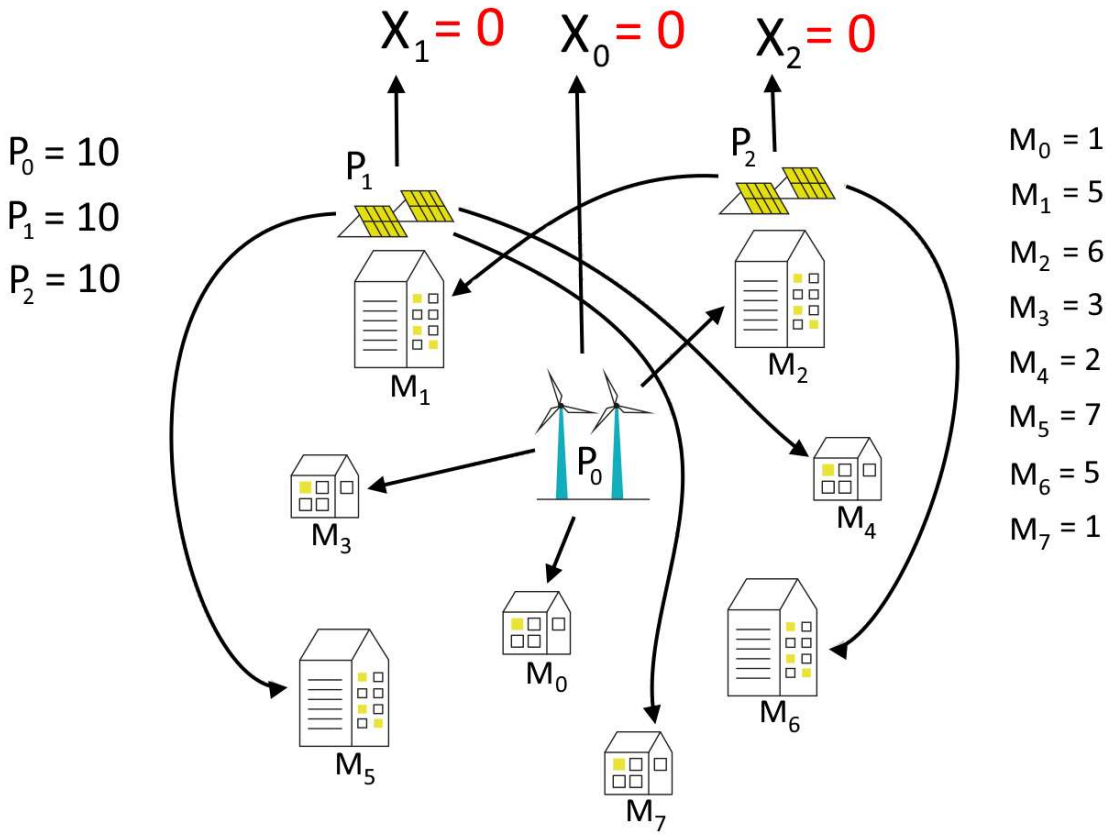


KONKRÉTNÍ PŘÍKLAD





KONKRÉTNÍ PŘÍKLAD



Optimal solution ... $\mathbf{c}^* = 100010100101010000100001$

DĚKUJI ZA POZORNOST !



Spolufinancováno Evropskou unií

Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy

Kvantová optimalizace vnitřního propojení rozsáhlé komunitní energetické sítě

Jiří Tomčala

Workshop
Aplikace umělé inteligence a kvantového počítání v energetice II

projekt „Zvýšení odolnosti energetických sítí v kontextu dekarbonizace, decentralizace a udržitelného socioekonomického rozvoje“
CZ.02.01.01/00/23_021/0008759
OPERAČNÍ PROGRAM JAN AMOS KOMENSKÝ

26. 10. 2026

