Résumé de l'article "Using dynamic programming to solve the Wireless Sensor Network Configuration Problem"

HACHEM Ali, ISMAIL Sally, ZHANG Haifei, ZHOU Zinan

December 05, 2019

Dans cet article [1], on étudie l'architecture de réseaux de capteurs sans fils pour que la consommation totale de l'énergie soit optimisée, et que la consommation de l'énergie sera juste entre les différents capteurs. Afin de trouver la meilleure configuration, on doit prendre en compte deux aspects principaux : la structure de transmission, et le déploiement et l'assignation de gamme. Et dans ce contexte, le problème peut être décomposé en deux sous problèmes :

1. le placement des capteurs afin que la charge soit assez répartie entre eux.
2. le contrôle de la topologie basé sur le contrôle de la puissance, pour que la consommation d'énergie par les capteurs soit justement répartie.

Notre but est de trouver le dimensionnement du réseau où les capteurs consomment le moins d'énergie pour transmettre leurs données à la destination.

Notre problème principal est la topologie linéaire. En réponse à ce problème, nous avons étudié deux cas: (a) le nœud du capteur source doit envoyer des données à la station de base, et placement les capteurs de manière équidistante a résolu ce problème (voir Gao et al., 2006). (b)Les capteurs intermédiaires ajoutent leurs propres informations avant le relais. Contrairement au (a), dans ce problème, chaque nœud intermédiaire ajoute une même quantité de données (voir la figure 2, scénario (b)).

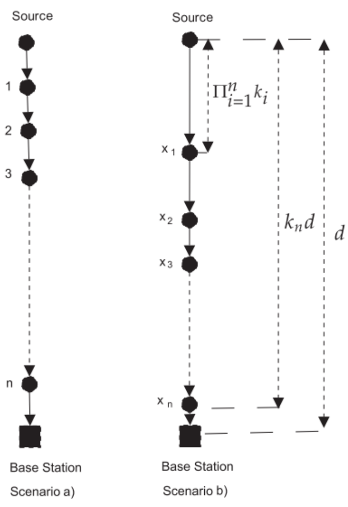

Figure 1: La structure de réseau linéaire

Dans la figure, x_i pour représenter la distance de la source du i-ième nœud relais et $k_n = x_n/d$, $k_i = x_i/x_{i+1}$. Le nombre de nœuds de capteurs à relais et les distances entre eux doivent être calculés afin d'atteindre le minimum de la fonction d'énergie associée.

Afin de réduire la consommation totale d'énergie, nous devons obtenir le nombre optimal de nœuds intermédiaires n et la distance entre le nœud source $d_i, 1 \leq i \leq n$ et la longueur du réseau d (la distance séparant le nœud source de la station de base).

Nous utilisons le modèle énergétique permettant d'estimer l'énergie consommée par la communication, proposé par *Heinzelman et al.* (2000). E_{TX} est l'énergie utilisée pour la transmission, E_{RX} est l'énergie utilisée pour la réception:

$$\begin{cases} E_{\mathrm{TX}} = (E_{\mathrm{elec}} + E_{\mathrm{amp}} d^{\gamma}) \cdot B \\ E_{\mathrm{RX}} = E_{\mathrm{rec}} \cdot B \end{cases}$$

Dans cette équation, E_{elec} est l'énergie/bit consommé par l'électronique de l'émetteur. E_{amp} est energy/bit consumption of the receiving circuitry. B est number of bits qui est mis à 1 dans les calculs suivants. γ signifie exposant de perte de chemin qui est est mis à 2 dans les calculs suivants. Cependant, en réalité, la plage de communication du capteur est limitée par la limite supérieure de $Tx_{\max}$.

Si nous supposons que n capteurs sont placés respectivement aux distances d1, d2, ..., dn et chacun d'eux génère une unité de données:

$$E_{(n,d_1 d_2,\ldots,d_n)} = \left(E_{\mathrm{elcc}} + E_{\mathrm{amp}}\, d_1^2\right) + E_{\mathrm{rec}} + 2\left(E_{\mathrm{elcc}} + E_{\mathrm{amp}}\, d_2^2\right) + \cdots + nE_{\mathrm{rec}} + (n+1)\left(E_{\mathrm{elec}} + E_{\mathrm{amp}}\, d_n^2\right)$$

1 Proposition 1 et la preuve

Proposition 1. Soit un réseau linéaire de longueur d et n nœuds, les valeurs $k_{i,1\leq i\leq n}$, ne dépendent pas de d.

Si n = 1, la fonction énergie est de la forme:

$\alpha_1 (x_1)^{\gamma} + \alpha_2 (d - x_1)^{\gamma} + \zeta = \alpha_1 d^{\gamma} (k_1)^{\gamma} + \alpha_2 d^{\gamma} (1 - k_1)^{\gamma} + \zeta$ où a_1, a_2 et γ sont constants. Àpres la dérivée par rapport à k1 est égale à 0:

$$k_1 = 1/\left(\left(\alpha_1/\alpha_2\right)^{1-\gamma} + 1\right)$$

Pour n capteurs sont placés entre la source et la BS et xi donne la distance du capteur i à la source. La formule énergétique a la forme suivante:

$$\alpha_1 (x_1)^{\gamma} + \alpha_2 (x_2 - x_1)^{\gamma} + \alpha_3 (x_3 - x_2)^{\gamma} + \cdots + \alpha_{n-1} (x_{n-1} - x_{n-2})^{\gamma} + \alpha_n (x_n - x_{n-1})^{\gamma} + \beta_n (d - x_n)^{\gamma} + \zeta_n$$

avec le rapport $k_i = x_i/x_{i+1}$: $x_{n-1} = k_{n-1} \cdot$

$x_n, x_{n-2} = k_{n-2} \cdot k_{n-1} \cdot x_n, \ldots, x_1 = k_1 \cdot k_2 \cdots k_{n-2} \cdot k_{n-1} \cdot x_n$

Finalement,

$\alpha' (x_n)^\gamma + \beta' (d - x_n)^\gamma + \zeta_n = \alpha' d^\gamma (k_n)^\gamma + \beta' d^\gamma (1 - k_n)^\gamma + \zeta_n$

2 Principe de programmation dynamique

La programmation dynamique décompose le problème aux plusieurs sous-problèmes(étapes): les sous-problèmes sont d'abord résolus et les solutions sont stockés, puis la solution de problèmes d'origine est obtenue à partir des solutions de ces sous-problèmes. Cependant, nous devons faire attention à la usabilité de la programmation dynamique:

- Propriétés de sous-structure optimales : la solution optimale du problème contient également des sous-problèmes optimaux
- Aucune séquelle : une fois que la solution du sous-problème est déterminée, elle ne changera pas et ne sera pas affectée par la décision de la solution du problème qui suit

3 Application dans le problème deconfiguration du réseau de cap-teurs sans fil

Si nous voulons placer n capteurs entre la source et la station de base, nous pouvons décomposer le problème en n étapes. Dans l'étape n, nous supposons que pour une distance $x \leq d$,nous avons placé de manière optimale (avec minimum d'énergie) $n-1$ capteurs. Donc l'énergie totale eat égale à la somme de minimum énergie consommée par $n-1$ capteurs et minimum énergie consommée par le n-ièm capteur. Avec cette idée, on peut obtenir la formule récurrence de minimum énergie consommée total pour n capteurs avec une distance d :

$$f_n(d) = \min_{\substack{0 \leq x \leq d \\ (d-x) \leq Tx_{\max}}} \{f_{n-1}(x) + nE_{\text{rec}} + (n+1)\left(E_{\text{elec}} + E_{\text{amp}}(d-x)^2\right\} (1)$$

Si la distance (d-x) est plus grand que T_{xmax}, alors d est substitué par d-T_{xmax}. Pour calculer la forme géneral de la fonction récursive on a :

$$f_{n-1}(x) = f_{n-2}(x_{n-1}) + n.E_{amp}(x - x_{n-1})^2 + n.E_{elec} + (n-1)E_{rec} (2)$$

$$k_{n-1} = \frac{x_{n-1}}{x} (3)$$

En remplaçant (2) et (3) dans l'équation (1), et en développant plus loin, la forme récursive de la fonction f(n) est:

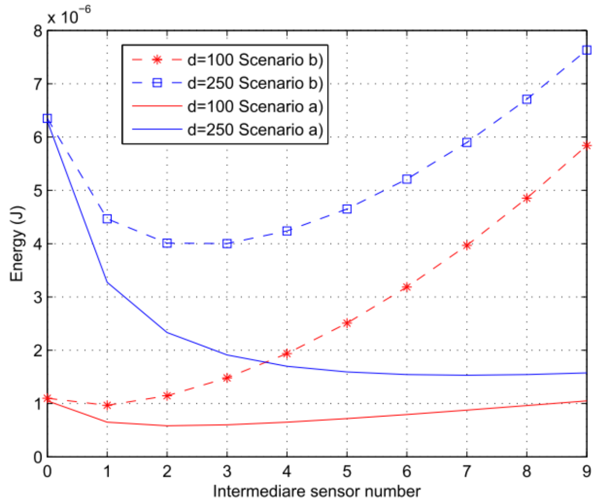

Figure 2: Energy versus the number of relay sensors for d=100 and d=250 m

$$f_n(d) = \min_{0 \leqslant x \leqslant d} \{\sum_{l=0}^{n-1} ((l+1)E_{amp}(1-k_l)^2. \prod_{p=l+1}^{n-1} k_p^2.x^2 + (n+1)E_{amp}(d-x)^2 + \sum_{k=1}^{n} ((k+1).E_{elec} + k.E_{rec})\} (4)$$

En dérivant l'équation (4) par rapport à x,en considérant que kp est indépendant de x (propsition 1) ,on obtient:

$$\sum_{l=0}^{n-1} ((l+1)(1-k_l)^2. \prod_{p=l+1}^{n-1} (k_p)^2)).x + (n+1)x = (n+1)d$$

La valeur de x obtenu est:

$$x = k_n.d$$

où kn est :

$$k_n = \frac{n+1}{\sum_{l=0}^{n-1} ((l+1)(1-k_l)^2. \prod_{p=l+1}^{n-1} (k_p)^2)) + n + 1}$$

Donc, on conclut que la valeur de f(n) est:

$$f_n(d) = E_{amp}.d^2 \sum_{l=0}^{n} ((l+1)(1-k_l)^2. \prod_{p=l+1}^{n} ((k_p)^2)) + E_{elec}.(n+1).(n+2)/2 + E_{rec}.n(n+1)/2$$

Les valeurs k_p pour tout p ne dépendent pas de la distance d (Proposition 1) peuvent être calculé au préalable comme dans cette formule:

$$k_p = \frac{p+1}{\sum_{l=0}^{p-1} ((l+1)(1-k_l)^2. \prod_{j=l+1}^{p-1} (k_j)^2)) + p + 1}$$

Pour scenario (b), les valeurs obtenu sont: $k_1 = 2/3 = 0.66$, $k_2 = 9/11 = 0.82$, k_3=0.88 et ainsi de suite.

La figure ci dessus montre les résultats finals obtenu. Nous avons simplement besoin de calculer f_k(d) itérativement pour k$>$ 0 et de nous arrêter pour n tels que f_n(d) f_{n+1}(d).Par exemple,nous montrons le comportement de la fonction énergie pour d = 100 et 250 m lorsque le nombre de les capteurs intermédiaires sont faits pour varier. Par exemple, nous voyons que pour le distance d = 100 m, le nombre optimal de nœuds intermédiaires est 2 pour scenario a, et 1 pour scenario b. Pour scenario a les nœuds seront placés respectivement dans le distance $x_2 = k_2$*d = 82m et $x_1 = k_1$*k_2*d = 54,5m de la source.

References

[1] Ada Gogu, Dritan Nace, Enrico Natalizio, and Yacine Challal. Using dynamic programming to solve the wireless sensor network configuration problem. *J. Netw. Comput. Appl.*, 83(C):140–154, April 2017.